ISSN 0286-0651
1993年1月7日発行　毎月7日発行　第13巻第1号
昭和56年8月10日第3種郵便物認可

Newton

GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

1

1993/January
Vol.13 No.1

大予測
地球の未来50億年

付録 地球史100億年カレンダー

徹底報告
毛利さんの宇宙生活

次世代新幹線

最初のヒトはどこで生まれたか

冥王星の彼方に新天体を発見

KYOIKUSHA

水田生態系としてのアジア

水田は人工生態系であるが、土を疲弊させることがない。世界有数の人口密集地であるアジア・モンスーン地帯が、数千年にわたって人々を養い続けてきたのも、この豊かな水田生態系とその文化のおかげである。

モンスーン気候が稲を育てる

大晦日から元旦の朝にかけて、京都祇園の八坂神社は、「おけら詣」にやってくる大勢の人々でにぎわう。オケラというのは、邪気や悪臭を取り去るとされるキク科の薬草。社前のかがり火にはこのオケラが焚かれ、人々は吉兆縄と呼ばれる火縄に火を移しとり、家に持ち帰って雑煮の火種とするというのが、古くからのならわしである。

ブリを入れたり、サケを入れたり、雑煮の具は地方によってさまざまだが、主役は何といっても餅である。丸餅や角餅のちがいはあれ、餅なしに日本の正月は始まらない。

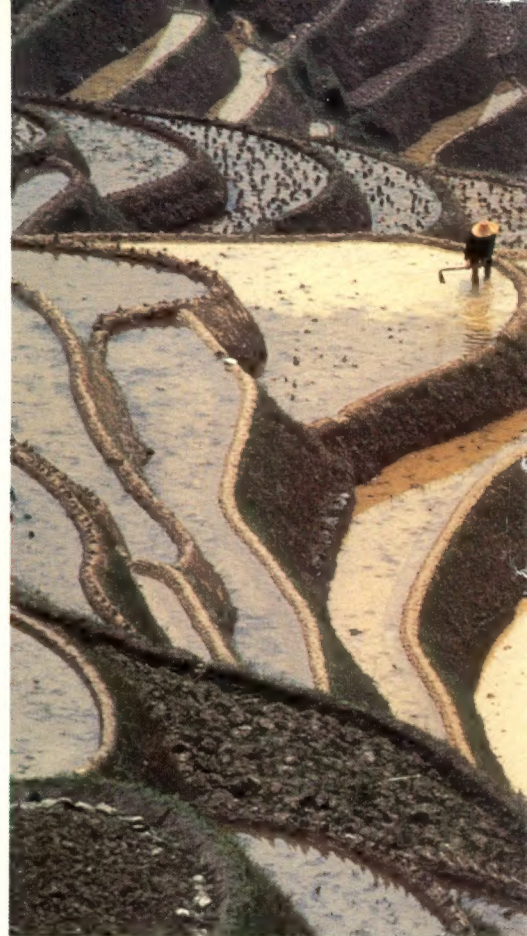
米の種類にはウルチとモチがあり、臼(うす)でついて餅にされるのは、もちろんモチのほうである。日本人は粘り気のある米を好むようで、ふだん主食としているウルチも、コシヒカリなどモチモチした品種に人気が集中する。これはアジアの米食圏においてきわめて特異な傾向という。

世界の栽培稲はジャポニカ種、インディカ種に大別される。ウルチやモチなどジャポニカ種の米粒は丸型で、一方のインディカ種は細長く、炊いても粘り気がなくパサパサしている。カレーライスにはインディカ種のほうが向くといわれ、輸入されてもいるのだが、どうも日本人の嗜好に合わないらしい。

それはさておき、世界の米の生産量は年間約3億9000万tで、その90%までがアジアで生産されている。高温多湿で降水量の多いモンスーン気候は、稲の栽培にきわめて適しているのだ。

なかでも世界有数の産米地として知られるのは、ベトナム南部のメコン・デルタ。雨季にはいると大河メコンは静かに増水を始め、見渡す限りの田に水を張り、乾季を迎えるとゆるやかに減水していく。毎年繰り返される自然のサイクルが、安定な米の生産をもたらしているのだ。

栽培稲の故郷はアッサム・雲南？

ところで、これまでアジアの栽培稲の起源地は熱帯低湿地とされてきた。また、野生種からまずインディカ種が分化し、インディカ種からジャポニカ種が派生したとも考えられてきた。東南アジアの栽培稲は、インド北東部のほうから伝播してきたことは事実である。このため栽培稲はインド北東部を起源地として、西から東へ、そして高緯度の高地へと伝播したというのが支配的な考え方であった。

しかし、近年、アジア各地で稲の調査が進むにつれ、これまでの説は根本的にくつがえされつつある。

熱帯アジアに残る古い建造物のレンガ片からは、しばしば稲のモミ殻が発見される。研究者にとって幸いなことに、レンガは比較的低い温度で焼かれているため、モミ殻の形態をよくとどめている。

こうして新たな研究アプローチが生まれた。過去のモミ殻の種類を、時代別そして地域別に地図上にプロットして、それぞれの稲がどのように広がっていったかを探ろうというのだ。

この研究の結果、どうやら栽培稲の起源地はインド北東部ではないということがほぼ明らかになってきた。確かにインド北東部は栽培稲の故郷ではあるが、それはいわば第二の故郷であって、本当の故郷は別のところにあるらしいのだ。

というのも、レンガに混じるモミ殻を調べたところ、レンガがつくられた時代が過去にさかのぼるほど、インディカ種よりもジャポニカ種のほうが多くなる。通説とは逆に、ジャポニカ種のほうがイ

ンディカ種よりも先と考えざるをえない。しかもこの種類の稲は、熱帯低湿地よりも丘陵地のほうが栽培に適している。

こうして研究者の関心は、にわかにアジアの山岳部に向き始め、10数年前から精力的に調査が重ねられた地域が、アッサムから雲南にいたる一帯である。

インドのアッサム地方は茶の産地として知られるが、この地を調査したところ、ジャポニカ種やインディカ種、それらの中間種、そしてさまざまな野生種など、多様な種類の稲が分布していることが判明したのである。

また中国南部の雲南は、アッサムからは距離的には1000kmも離れているが、自然条件はきわめてアッサムに近い。この雲南の山岳部でも、インディカ的な特性とジャポニカ的な特性を併せもった未分化な稲が数多く分布していた。こうした未分化の稲が、山岳部から低地に下る過程で別々の種類に分化し、ジャポニカ種やインディカ種などが成立したというのが、どうやら本当のところらしい。アッサム・雲南起源説は、ほぼ定説に近いほど有力になってきている。

日本人にとってさらに興味深いのは、雲南やラオス、タイ北部など、東南アジア北部の山岳部には、もっぱらモチ米を主食とする地域があることが発見されたことだ。この地域に暮らす人々は、蒸したモチ米をチマキにしたり、臼でついて丸餅やのし餅にしたりする。またダイズを加工して豆腐や湯葉、納豆もつくられ、ワラビやタケノコも食用にされている。きわめて日本の伝統食に似通っていることに驚かされる。もしかしたら日本の食文化のルーツは、東南アジア北部にあるのかもしれない。

米はコムギ、トウモロコシと並んで、世界の三大穀物と呼ばれるが、米がすぐれているのは高収量とともに、その安定した生産性にある。水田は人工生態系であるが、土を疲弊させることがない。世界有数の人口密集地であるアジア・モンスーン地帯が、数千年にわたって人々を養い続けてきたのも、この豊かな水田生態系のおかげである。この水田生態系が維持されさえすれば、アジアは永遠に持続発展が可能である。

ただ憂慮されるのは、アジアの片隅に食料自給率が30%までに落ち込んでいる国があるということだ。モンスーン地帯で米づくりを放棄することは、文化の基盤を失い、ひいては産業発展の原動力を失うことになりかねないのだが…。

(文／吉岡安之)

日本の「聖域」としての国家貿易品目コメが市場開放を迫られている。その発端は、アメリカ精米業者協会(RMA)が1986年9月大統領に提訴したことに始まり、ガットなどで協議されてきたが、日本は食料安保をタテに反対してきたことはご承知の通りである。コメ市場の開放問題は、アメリカとECの農業政策をめぐる対立の陰にあって今日までこられたが、アメリカは開放に向けて一層の圧力をかけてくるだろう。コメ市場の開放を迫るアメリカのコメ生産高は約6百万トンで、世界のコメ総生産高5億2千万トンの1.1%程度である。何といってもコメを主食とするアジア諸国の生産量が殆どを占め、全体の92%にも達する。日本全国で生産している主食用のコメの量は、1千3百万トン、世界の2.5%。産地品種となっているのは約300種である。コメを大別すると、我々が主に食べているジャポニカ米の他、インディカ米、古代米の赤米・黒米・緑米、コメとは異なるが北米湿地帯で自生するイネ科のワイルドライスがある。食べ方は国により異なるが、炊飯、粒食、粉にすることではほとんど変わりがない。

最近は、日本にいて世界の料理が食べられるので、珍しく感動的なコメ料理は味わえない。「平凡社百科事典」のお許しを得て、「世界のコメ料理」を引用させていただくと、中国「八方飯」は、炊飯したコメに鳥獣肉、鶏卵、野菜、エビ、キノコなどをまぜたもの。中国・福建風「ビーフン」は、コメを粉状に砕き、そうめん状にして、ニンニク、ニラ、鳥獣肉、レバーなどをあわせ油炒めしたもの。ベトナム「ネム」は、コメの粉をのり状にし、蒸気で薄いせんべいのようにしたものに、エビ、魚肉、野菜を包み、ゆでるか揚げたもの。ラオスでは、祭日にラッカセイをまぜたモチゴメをふかし、赤飯のように料理する。インドでは、コリアンダー、クミン、フェヌグリークの基本スパイスとレッドペッパー、カルダモン、フェンネルなどの香辛料をブレンドしたカレー粉に、魚介類、鳥肉、野菜をあえたカレー汁を炊飯したコメに添える。アラビア「ピラフ」は、鳥獣肉、エビ、バターを用いたまぜ飯。スペイン、イタリア(地中海沿岸の一部)では、コメをイカに詰めた料理。フランスには、料理に添えるバター炒めや、リ・オ・グラ・リゾットがある。

電気炊飯器は、コメを美味しく炊くために、NTCサーミスタによる炊飯センサや保温センサ、センターサーモなどを使い、センサからの信号をマイコンで計測して、理想的な炊飯「火加減」になるようにヒータを制御している。炊飯後のご飯を美味しく保つ保温ヒータには、最適温度で自己保持するPTC半導体セラミックヒータが使用されている。写真は、TDKの汎用型PTC半導体セラミックヒータの例。　(みやした)

Newton 1 1993
GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

発行人／辻 裕久　　編集人／竹内 均
発行所／株式会社教育社　〒189 東京都東村山市恩多町1-12-3
Newton 1月号 Vol.13 No.1 1993年1月7日発行

連星系誕生のなぞ

巨大分子雲から星が誕生するとき，連星系が自然に形成されることがわかった。

●*nature* 1992年9月17日号

恒星がどのようにして誕生するのかという問題は，天文学上の重要なテーマの一つである。これまでに，恒星は巨大な分子の雲から生みだされるという説を裏づける証拠が，多く発見されている。

恒星の多くは単独で存在しているのではなく，二つ以上の恒星がたがいにまわり合う形で連星系をつくっていることがわかっている。

連星系の想像図。多くの恒星が単独で存在するのではなく連星系を形成している。

このような連星系は，どのようにして巨大分子雲から生まれてくるのだろうか。

イギリス，ウェールズ大学のサイモン・チャップマン博士らは，コンピューターを用いて，巨大分子雲内の状態を模したシミュレーション計算を行った。その結果，星間ガス雲からガスが凝縮して原始星が生まれる際に，特別な条件がなくても連星系が誕生してくることがわかった。

今後このような計算を積み重ねることにより，どんな物理状態からどのような連星系が誕生するのか，理論的に予言できるようになるだろうと博士らは語っている。

人工神経回路の形成

単純な神経回路を，基板上に溝をつくることで人工的な形成に成功した。

●日本物理学会誌 1992年10月号

脳の機能を解明するうえでの大きな問題は，多数の神経細胞と複雑な神経回路にある。このような複雑な脳の機能を細胞レベルで調べる手段として，動物の脳から神経細胞を取りだして培養する方法が知られている。しかし神経細胞からのびる突起の形状とその回路が複雑なため，細胞どうしの結合状態はこれまでわからなかった。

先ごろ日本電信電話株式会社基礎研究所の川名明夫主幹研究員は，微細加工技術を用いて神経細胞を培養する基板の上に，深さ数ミクロンの溝をつくった。この溝によって，神経細胞の突起が成長する方向を制御でき，また細胞を任意の位置に培養することが可能になった。その結果，単純な神経回路を人工的に形成することに成功した。この人工神経回路の開発によって，神経突起の微小部分を直接刺激することが可能になった。

また脳機能の本質にせまる神経細胞や，それがつくる神経回路の機能解明に役立つだろうと川名氏は語っている。

ピナトゥボとオゾン層

ピナトゥボ火山の噴火によって，成層圏下層部ではオゾンが激減したらしい。

●*Science* 1992年8月28日号

1991年6月に大噴火したフィリピンのピナトゥボ火山は，噴火の際に大量の二酸化硫黄を放出した。この二酸化硫黄から生じた硫黄が，「エアロゾル」とよばれる極微粒子となって大気中を浮遊しはじめた。このエアロゾルの表面で化学反応がおき，硝酸や次亜塩素酸が大量につくられた。同じ現象が北極や南極上空の成層圏の氷粒表面でもみられるため，オゾンの減少に影響がないか心配されていた。

アメリカ国立大気研究センターのギイ・ブラッスール博士らは，硫酸塩のエアロゾルがオゾンの減少にあたえた影響を，コンピューターによって計算した。その結果，エアロゾルの発生によって対流圏上部が低温化し，成層圏下部が温暖化したことがわかった。このような大気温の変化によって，オゾンの分布に乱れが生じたと考えられる。またエアロゾルの表面でおきた化学変化による影響はさらに大きく，中～高緯度上空20キロメートルのところでは，オゾンがかなり減少したらしい。

巨大隕石衝突の新証拠

白亜紀末の巨大隕石衝突を裏づける新しい証拠がメキシコで多数発見された。

●*Geology* 1992年8月号

メキシコのユカタン半島北部には，直径180キロメートルの大クレーターが残されている。これは白亜紀末に落下した巨大隕石の跡であると考えられてきた。このほどアメリカ，カリフォルニア大学のワルター・アルバレス博士らは，ここから400～500キロメートルの地点にあるメキシコ湾の海底をボーリング調査した。その結果，白亜紀末にユカタン半島に隕石が落下したらしいことを裏づける新しい証拠が発見された。

調査で得られたコアでは白亜紀層の最上部が欠落している。これは隕石の衝突による大津波で，けずりとられたことを示しているらしい。白亜紀から第三紀の境界層下部では，津波によってできたらしいさざ波の跡なども発見された。また境界部には隕石から放出されたイリジウムや，衝突によって生じる「衝撃石英」も多数存在していた。ハイチ島などのデータと比較すると，隕石がこの時代にユカタン半島に落下したという説が有力になると博士らは語っている。

生物の磁気コンパス

サンショウウオに，光に依存する磁気コンパスが存在していることがわかった。

●*nature* 1992年9月10日号

生物にとって地球の磁場は，方向を知るための重要な情報源である。磁場を認識する機構の理論的なモデルでは，地磁気場と単一の電子スピンによる相互作用が，光の変化として検出されると考えられてきた。そして磁場の感受性と視覚システムとの関連について，研究が進められてきた。しかし磁場を光によって感じるシステムを裏づける証拠は，これまで得られなかった。

このほどアメリカ，インディアナ大学のジョン・フィリップス博士らは，半水生のサンショウウオの磁気感受性を調査した。その結果，光の波長によって磁気感受性が影響されることを突き止めた。このことから，光が磁気受容機構に直接影響をあたえていることが確実となった。この磁気コンパスには，2種のスペクトルによる制御機構が影響し合っているらしい。この磁気コンパスが，具体的にどのような器官なのかについては，今後さらに研究を重ねる必要があると博士らはのべている。

Vol.5

21世紀の科学ミュージアム

血管を残して患部だけをスパッ。水流のメスで臓器を切れば血が出ないって本当?!

動脈中で噴射させ、詰まった血栓を粉砕する治療への応用も。

切ってもほとんど血が出ない。そんな魔法のような手術がある。水のメス「ウォータージェット」を使った手術だ。北陸先端科学技術大学院大学の西坂教授（前東京農工大）が開発したもので、0.15ミリの微小なノズルから糸のように細い高圧の水流を噴射して患部を切断する。「肝臓など血管が多い臓器の手術は出血が多いのが難点。なんとか血を出さずに手術する方法はないものかと模索していたとき、ふとコンクリートや鉄骨の切断に使われているウォータージェットをメスにすればどうかとひらめきまして。水なら硬いところはよけて流れる。圧力をうまく調整すれば柔らかい臓器だけを切断して血管は切らずに残すことができるのではと」（西坂教授）。約10年前のことだ。

それからウサギを使っての動物実験がスタート。試行錯誤の結果、網の目のように走る0.5ミリ以上の血管をそのまま残すことができるようになった。水は血管の裏側にまで回るので、血管だけがスジのようにきれいに残り臓器部分はスパッと切り離される。これなら出血もほとんどなく、また血管を結ぶ作業もとても楽だ。しかもレーザーや電気のように切除跡が熱で焼けたり壊死することもなく切断面も滑らか。術後の治りも早い。このウォータージェットメス、現在ではすでに肝臓ガンなどの患部切除の手術にすっかり定着している。今後は脳腫瘍や前立腺（肥大）など、幅広い手術に活用されていくにちがいない。

さらに西坂教授はメスとしてだけではなく、動脈に詰まった血栓などを破壊する療法への応用も研究中だ。これは血管のなかに内視鏡とノズルのついた細いカテーテル（管）を挿入し、内視鏡を見ながらノズルを標的に当て、噴流を吹き付けて血栓を粉々に砕く仕掛け。動脈の壁にこびりついたコレステロールも洗い流せるので、血栓の除去と動脈硬化の治療が一石二鳥で行なえる。すでに動物実験では成功をおさめていて、実用化の日も近い。切っても血が出ないだけでなく、血管の中なら切らずに直接病巣をやっつけられるなんて、患者にとってはまさに夢のよう。これなら、もう手術もこわくない!?

西坂剛 教授

昭和14年生 新潟大学医学部卒
東京大学医用電子研究施設、
東京農工大学・保健管理センターを経て、
平成5年、北陸先端科学技術大学院大学教授に就任。
昭和52年、ウォータージェットメスを開発。
専攻は医用生体工学。
問い合せ先：TEL.0761-51-1111

銀河系中心にあるもの

われわれの銀河系中心には巨大ブラックホールが存在しないかもしれない。

●*nature* 1992年9月10日号

われわれの銀河系の中心には，太陽の100万倍もの質量をもつ巨大ブラックホールが存在し，非常に活発なエネルギー現象のみなもととなっていると，これまで天文学者の間で考えられてきた。最近，近赤外線による観測によって，われわれの銀河系中心付近に多くの明るい星が存在していることが発見された。「IRS16」は，そのような若くて明るい星が20個ほど集まった星団である。

オランダ，グローニンゲン大学のR.サンダース博士によると，巨大ブラックホールのごく近くに星団があると，強力な潮汐力によって星団はばらばらになるはずである。したがって銀河系中心付近に星団IRS16が存在するということは，銀河系の中心には巨大ブラックホールなどによる強い重力場がないことを意味している，という。今後IRS16の運動をくわしく調べれば，銀河系中心に巨大ブラックホールが存在するという説は，否定されるかもしれないと博士は語っている。

太陽ニュートリノ

地表に到達する太陽ニュートリノが，予測値の半分に満たないのはなぜか。

●*CERN Courier* 1992年9月号

太陽活動は陽子衝突による重水素核融合反応であると考えられている。この核融合で「ニュートリノ」という物質が生じる。太陽から地球に到達するニュートリノの検出量は，予測値の半分にも満たないため，理論が誤っているのか，それとも太陽活動が低下しているのか，解明が待たれている。

1992年6月にスペインのグラナダで，ニュートリノに関する国際会議が開催され，さまざまな測定結果が報告された。アメリカ，ペンシルベニア大学のケネス・ランデ博士は，観測されたニュートリノが二つの過程で生じ，計算による予測値の約半分であることを示した。東京大学宇宙線研究所の中村建蔵教授の報告によると，実験によって得られたニュートリノは予測値の約60％になった。また陽子衝突による重水素核融合反応から直接放出されるニュートリノを検出しようとする最新の実験も紹介された。理論を確実なものにするため，陽子反応などのくわしい調査が期待されている。

NASAの海洋調査

太平洋の赤道付近のプランクトンに関する総合的な調査が進められている。

●*NASA News* 1992年8月20日号

人類の活動によって大気中の二酸化炭素がふえつづけ，地球の温暖化が進んでいる。海洋に生息する大量の植物プランクトンは，光合成によって二酸化炭素を吸収している。したがって海洋中の植物プランクトンは，温室効果に影響をあたえているかもしれない。

太平洋の赤道付近に生息している植物プランクトンは，栄養や陽光に恵まれているにもかかわらず生産性が限られている。これに対し大西洋のプランクトンは，同じ条件でありながら豊富である。このなぞをとくため，NASA（アメリカ航空宇宙局）は飛行機による実態調査を開始した。

調査では飛行機からレーザー光線の緑色光を海に向けて当て，海面で反射される緑色光と，プランクトンの葉緑体中の色素が発する赤色光とを受信する。同時に人工衛星によって，プランクトンの濃集度を示す海の色調を観測する。飛行機による調査は，ハワイ島のヒロを基地として，遠くクリスマス島付近まで行われている。

クモの糸の有効利用

クモの糸がもつタンパク質繊維としての性能は，工業製品の向上に役立つ。

●インセクタリウム 1992年10月号

ワックスやキチンのように，昆虫がつくりだす物質を工業原料に利用する技術が実用化されつつある。蚕糸・昆虫農業技術研究所生体情報部長の河部 暹氏が，クモの糸がもつタンパク質繊維としての有効性を紹介している。

約5700種のクモは，いずれもえさの捕獲のために糸を出し，そのうち約半数の種が網をはる。糸の直径は数ミクロンで，この細さを利用して，これまでもっぱら望遠鏡や照準器のレンズ用の十字線に用いられてきた。クモの糸は一般に強度が高く，直径が0.9ミリ以上あれば，体重60キログラムの人をぶら下げることができるらしい。また絹と比較すると紫外線によって劣化しにくく，つやもある。

クモは肉食であるため，増殖させて糸を大量生産することはむずかしい。そこでクモの糸を直接利用するのではなく，そのすぐれた特性を解明し，遺伝子工学によって絹タンパク質の向上に役立てることが今後期待される，と河部氏は語っている。

食虫植物の進化

遺伝子を用いた研究によって，食虫植物の系統と形態がくわしく調べられた。

●*Science* 1992年9月11日号

食虫植物は獲物を引きつけて捕獲し，消化するため，固有の形態をもっている。しかし形態が似ている場合でも，必ずしも系統学上の類縁関係にあるわけではない。逆に系統学的に近くても，共通の形態をもつとはかぎらない。したがって食虫植物の系統発生を解析することは，マクロ進化のパターンと経過を理解するために役立つ。

長い毛のついた葉を閉じ，ハエをとらえようとする食虫植物のハエジゴク。

アメリカ，ノースカロライナ大学のヴィクター・アルバード博士らは，プラスチドのrbcL遺伝子の塩基配列を利用し，食虫植物の系統を解析した。その結果，水差し型，ハエ取り紙型などの定型化したわなの形態は，ことなった系統から発生したことがわかった。また祖先がことなる個体が，同じような構造をもつようになったり，同じ祖先から生じた個体が，ことなる構造をもっていることも確認された。このことは，形態と機能が強く相関していることを示している。この研究成果は，ほかの被子植物にも一般化できるかもしれないと，博士らは考えている。

Canon
ここ掘れ、
ゼロワン。
ゼロワンショップは、他のOAショップとどこが違うのでしょう。それは安心です。世界のMacintoshをはじめ、話題のDOS/V IBM PS/55、実力のUNIXマシンNeXTを見て、触れて、体験。また、豊富なハード&ソフトウェア、充実のサードパーティ製品。最新の情報からノウハウのご提供。レベルに合わせて参加できる各種スクール。さらに、コンサルティングまで含め、とことんフルサポート。ゼロワンショップでビジネスは完璧です。
PRINTER & SYSTEM
個人、オフィスなど、Macintoshの用途に合わせたプリンタのシステム。Macintoshと他機種でプリンタを使用するシステムの構築など、あらゆるニーズに対応。さらに、Macintoshとフルカラー複写機「PIXEL JET」とのカラーシステム。NetWareによるLANなど、様々なご要望にお応えします。
SCHOOL & SERVICE
ビギナーからパワーユーザーまで、様々なニーズに応えるMacスクール。きめ細かなプログラムで、全国で月500教室以上開催。また、プレゼンテーションなどを効果的にするカラーコピー、ビジネス文書の編集・印刷をするDTP、様々な用紙サイズの出力など、各種サービスを提供します。
This is Zero-Wonder, the new character of the Zero-One shop.
©The Works, Division of Hope Works Inc.
▲Macintosh ClassicII
▲IBM PS/55note
▲NeXTstation Color
▲PIXEL JET
▲BJC-820J
▲LBP-A304E
(ハイテク ワンダーランド)
01
ZERO-ONE SHOP
Canon
キヤノン販売

1992年度ノーベル賞

1992年12月10日，スウェーデンのストックホルムでノーベル賞の授賞式が行われた。科学関係の受賞者は次の4人である。

医学・生理学賞

受賞理由：生体制御機構としての可逆的タンパク質リン酸化の発見

エドモンド・フィッシャー

Edmond H.Fischer
アメリカ，ワシントン大学名誉教授

エドウィン・クレブス

Edwin G.Krebs
アメリカ，ワシントン大学名誉教授

1個の細胞には数千ものタンパク質が存在し，それらの相互作用で生命活動がいとなまれている。この相互作用を厳密に制御する最も重要な機構の一つが,「可逆的タンパク質リン酸化」である。酵素によってタンパク質にリン酸基をつけたり，はずしたりすることで，そのタンパク質のはたらきを制御するのである。

フィッシャー博士とクレブス博士が最初にこの機構を発見したのは，1950年代のことであった。博士らは筋肉にエネルギーを供給するためには，リン酸化と脱リン酸化が重要であることを明らかにし，その制御をつかさどる酵素を精製・解析した。これにより，筋肉が収縮するときに細胞内でおきる情報伝達のしくみが解明されたのである。

現在では，博士らが発見した可逆的リン酸化の機構があらゆる生命現象に関与していることがわかっている。免疫抑制剤シクロスポリンによる臓器移植時の拒絶反応の制御や，がんの進行のメカニズムなど，医学的に重要な問題もこの機構によって説明することができる。

物理学賞

受賞理由：粒子検出器，とくに多線式比例チェンバーの発明と改良

ジョルジュ・シャルパック

Georges Charpak
フランス，物理化学高等学院教授

素粒子物理学の実験では，反応をおこした粒子の飛跡を検出する測定器の役割が非常に重要である。シャルパック博士はCERN（ヨーロッパ素粒子研究所）で飛跡検出器の研究を行い，1968年に「多線式比例チェンバー」とよばれる装置を発明した。

霧箱や泡箱といったそれまでの飛跡検出器では，反応粒子の飛跡を写真に記録して解析を行っていた。博士が発明した多線式比例チェンバーは，飛跡を電気信号として取りだし，その情報をすべてコンピューターで処理する。この方法の発明によって，素粒子の実験結果の解析速度は数千倍にも向上した。

博士が発明した検出器は，素粒子物理学上の重要な発見を次々にもたらした。1974年のバートン・リヒターとサム・ティンによるチャーム・クォークの発見，1983年のカルロ・ルビアらによる$W^{\pm}$粒子，Z^0粒子の発見などである。

この技術は素粒子実験だけでなく，医学や生物学でもX線測定の検出器として応用されている。

化学賞

受賞理由：化学系での電子移動反応理論への貢献

ルドルフ・マーカス

Rudolph A.Marcus
アメリカ，カリフォルニア工科大学教授

1956年から1965年にかけて，マーカス博士は非常に重要な一連の論文を発表した。これは溶液中にある分子系の酸化還元反応の時間が，何桁も広範囲に変化する理由を理論的に説明したものである。当時，酸化還元反応にともなう電子の移動に長時間かかるのは，まったくのなぞであった。

博士は反応時にそれぞれの分子だけではなく，隣接した溶媒分子の構造も変化するというユニークな発想で，そのエネルギー変化を数学的にみちびく理論を建設した。さらに電子移動速度と分子間のエネルギー差との一般的な関係をみちびいた。また多くの化学者たちの直感に反して，この差が大になるとかえって反応速度が落ちてくる現象を予測していた。その正しさが実証されたのはここ数年のことである。

「マーカス理論」は，さまざまな分野の化学反応現象を予測し，解釈することを可能にした。植物の光合成反応，化学発光，電気伝導性ポリマーの伝導性，電気化学的な反応などである。

リサイクル機能をもつ地下都市「ニュー・バイオ・デザイン・シティ」

「2100年，全人類は地下に移り住もう。そして地上をほかの生物に明け渡し，環境破壊によって傷ついた地球がしぜんに回復するのを待とう」という壮大な構想から，株式会社フジタによって提案されたのがこの「ニュー・バイオ・デザイン・シティ」である。

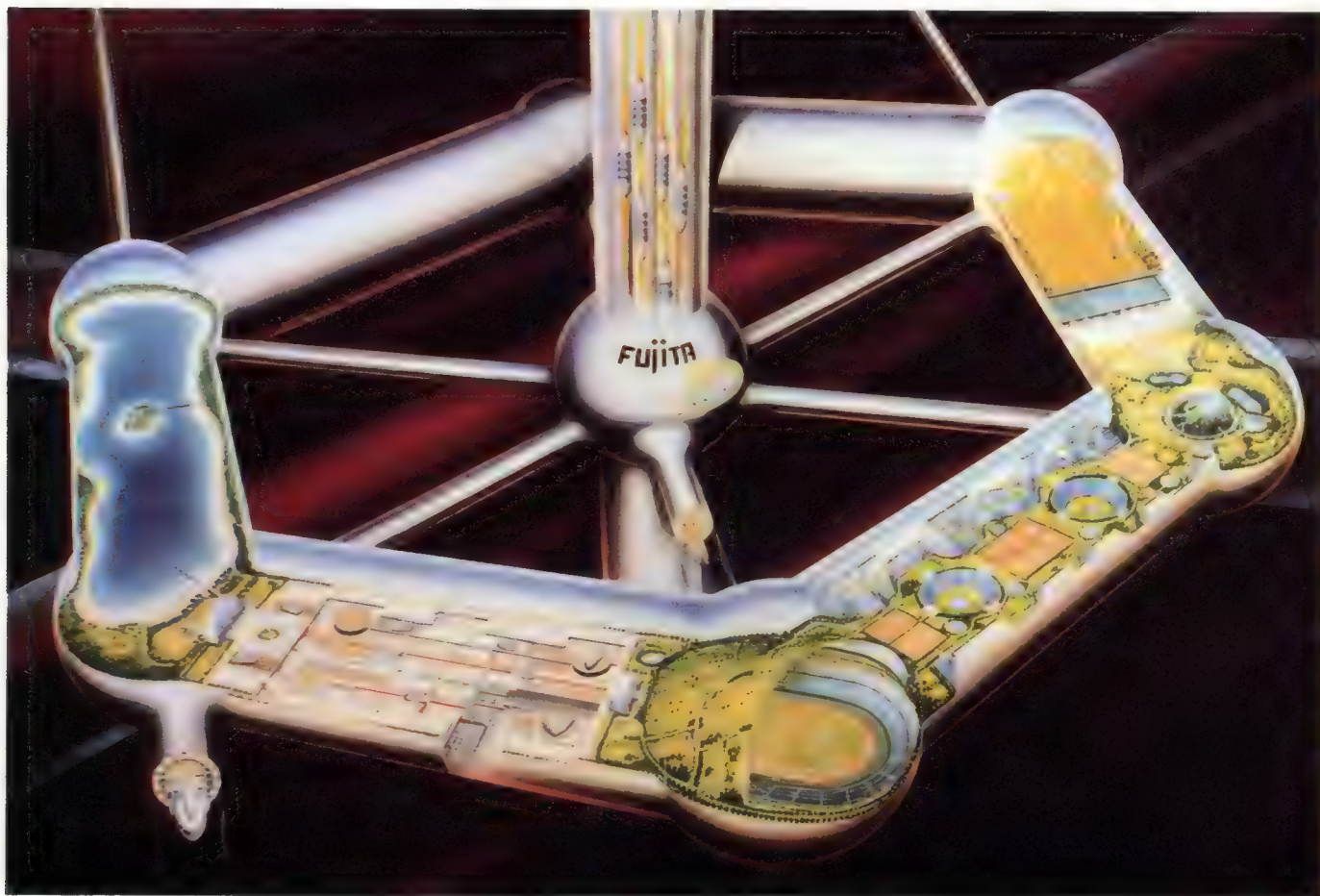
この目的を達成するには，完全なリサイクル機能によってほとんど閉鎖された地下都市を実現する必要がある。ニュー・バイオ・デザイン・シティには居住地域のほか，農業・畜産エリア(バイオファーム)，水産エリアなどがつくられる。これらの施設にはバイオテクノロジーを利用した水のリサイクルシステムが設置される。このシステムは居住地域の飲料水の供給を含めて，各エリアに水を供給している。エネルギー源には太陽光発電や地熱発電，燃料電池などクリーンなエネルギーを用いる。

この地下都市は地球上各地の都市近郊の地下200メートル以深に設置する。長さ1キロメートル，直径200メートルのチューブで構成された正六角形のユニットが最小単位となる。チューブの厚さは10メートルである。各ユニットの中心にあるセンターステーションがエネルギーの貯蔵所や中継地の役目をする。

主要ユニットの中心部に連結する情報タワーは，光LAN通信網の送受信設備と地上への出入り口をかねている。宇宙に打ち上げられた太陽光発電衛星から送られてくるエネルギーもここで受ける。

一つのユニットは約1万8000人を収容でき，居住区，業務区，商業区，工業区，農業区，水産区，牧畜区，文化区，教育区，医療区，行政区，管理区などのゾーンに分かれている。主な支援施設としては交通施設，流通施設，廃棄物処理施設，酸素生成施設，空気浄化施設，水浄化施設，エネルギー施設などがある。

交通システムとして，1キロメートル圏には動く歩道，10キロメートル圏には未来型無人ライナー，100キロメートル圏にはスーパー・エクスプレス，1000キロメートル圏にはリフティングボディ型地中飛行機，1万キロメートル圏には真空チューブ・トレインがそれぞれ対応する。

季節や昼夜，気象の変化など地下都市上部の地表環境も，それぞれのユニットの中で再現する。ときどきは地表に上って閉塞感をのがれることも許される。あとは地球環境の回復がどのくらいで実現されるか，人類の忍耐がどこまでつづくかの勝負である。

掘削機を積んだ火星ローバーと，羽ばたく飛行機「KANDA」

バイキングは火星の表面しか探査していない。地中はどうなっているのか。火星の有機物や水はむしろ地下にあるのではないか。このような疑問に答えるには，火星にボーリング機械を持ちこんで数メートルの穴を掘り，地下の土壌を分析する必要がある。

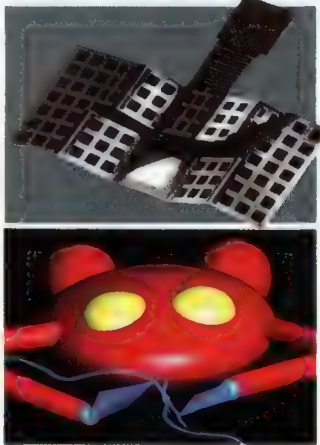
宇宙科学研究所を中心として，西松建設株式会社など民間企業3社および名古屋大学理学部で構成する「火星移動科学探査車研究会」では，火星の地下探査を主目的とした移動探査車(ローバー)を提案し，実際に火星用の掘削装置を試作してテストを進めている。右のイラストはその火星ローバーの想像図である。

地球上でボーリングを行うときには，通常コア・ボーリングという方法で穴を開け試料を取りだす。この方法は大量の水を必要とする。水があるかないかわからない火星では，この方法はとれない。そこで2重管式偏心オーガビット無水サンプリングという方式を採用する。掘削深度1.5メートルの試作機は良好に作動した。最終目標は5メートル，努力目標として10メートルの掘削深度をめざしている。

また西松建設では，火星のような薄い大気の中でも高い運動性能を発揮する飛行機「KANDA」を提唱している。左はその模型の写真である。大きな翼の両端が，鳥のように羽ばたける構造になっている。火星探査が進み，植民地が建設された暁には，このような飛行機に乗って火星の空を散歩できるようになるのかもしれない。

新種の昆虫? マイクロマシン2機種

昆虫の行動は，ほとんどが条件反射である。にもかかわらずゴキブリをみていたとき，ふとそれらが意識をもって行動しているような気がしたのがきっかけで，東京大学工学部の三浦宏文教授は「昆虫規範型マイクロロボット」の研究をはじめた。右上の写真は同教授らが開発した長さ1.5ミリの「マイクロ羽ばたき機構」である。集積回路製作技術によりシリコンウエハの上に製作された。基板と羽の間に交番電圧をかけると羽ばたく。昆虫をモデルとしたロボットをつくるには，従来の人間や動物を規範として進めてきたロボット製作法とは，まったくことなった発想が必要だという。

滋賀医科大学眼科の永田啓助手は，目を治療するマイクロマシン「GENGORO」を提案している。右下はその想像図である。大きさは直径1ミリ。眼科の手術をより細かく正確に行うために使われる。虹彩や角膜，水晶体，網膜など微妙な組織がたくさんつまっている目の手術は，現在でも手術用顕微鏡を使って数百から数十ミクロン単位の精度で行っている。GENGOROを使うことで，今の方法ではむずかしい，目の内側の詳細な観察や手術が可能になる。もっと将来には，いつも目の中にいて，病気の予防や早期治療をする白血球のようなはたらきをするようになってほしいという。

世界初の手話通訳システム

手話は聴覚障害者の重要なコミュニケーション手段であるにもかかわらず，健聴者との対話に欠かせない手話通訳者は不足している。この問題に対処することをめざして株式会社日立製作所では，手話通訳システムのプロトタイプを世界ではじめて開発した。

このシステムは，手の向きや指の動きを検出できるデータグローブで入力された手話を，ワークステーション上で手話の標準パターンと照合し，各単語を認識する。次に言語解析をほどこして省略されている助詞などの文字を補い，しぜんな文章に変換する。

今のところ20単語程度しか認識できないが，3年後には500から3000単語の認識を可能にし，実用化したいという。

高さ1000メートルの超高層都市「東京エコポリス・シティ1000」

この建造物は，いわゆる「超高層ビル」の概念を一歩も二歩もこえている。コンクリートやガラスによって閉じられた空間ではなく，外気にふれることができ，各層には緑豊かな公園も広がっている。

この「東京エコポリス・シティ1000」は，財団法人エンジニアリング振興協会を中心として株式会社環境システム研究所，株式会社竹中工務店などを含む民間企業20社と関係官庁，学識経験者によって研究され，提案された「超高層都市空間システム」である。地価高騰や郊外の自然破壊などを引きおこす大都市集中の問題を解決する一つの方法として考えだされた。

このシステムを実現するには，空中台地という空間を積層させる方式がとられる。空中台地とは断面が凹型をした人工地盤で，中央には公園や公共施設を配置し，その周囲をオフィス，商業施設や住宅のための棚状の人工土地が取り囲む。

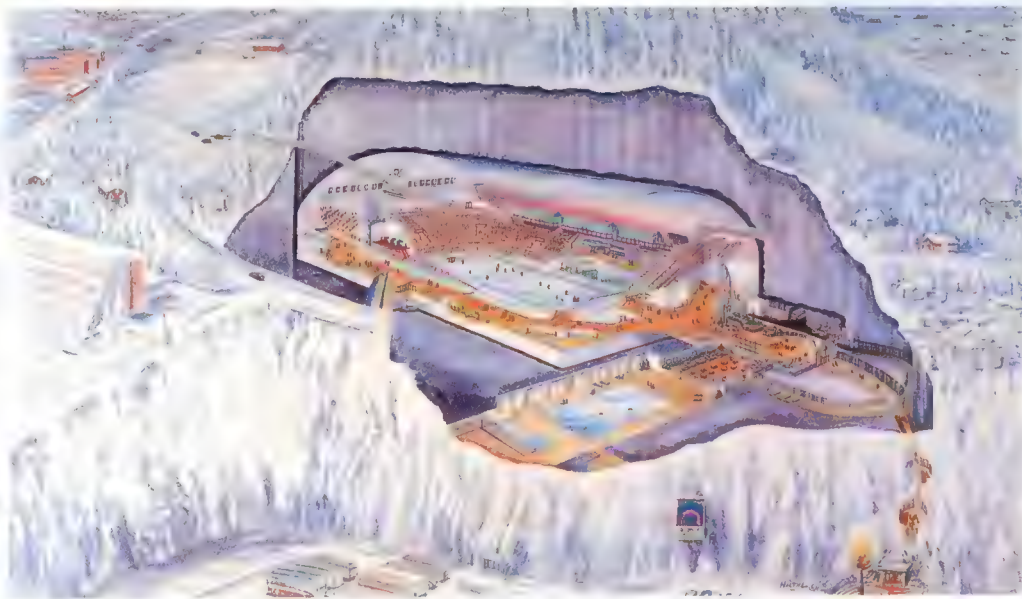
「シティ1000」は高さ1000メートル，人工土地の総面積が700ヘクタールの規模で，7万5000人が居住できる。空中台地は地表を含めて12層あり，日照条件を考慮して東西方向に長いだ円形をしている。南面は採光のため大きく開放されている。空中台地ごとに下水処理施設を設けて水を再利用し，自給率60%を達成する。

垂直方向に土地をふやした分，周囲の地表に緑を取りもどしていく。環境やエネルギーに対する配慮をしながら，高い居住性をめざした地球と人にやさしい超高層都市である。

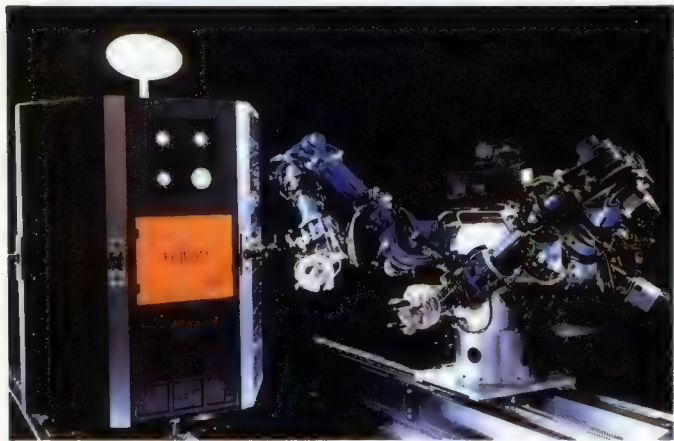
山をくりぬいた1994年冬季オリンピックのアイスホッケー会場

ノルウェーは高度なトンネル工法を駆使し，山腹内施設としては世界最大のスポーツセンターを建設している。この施設は1994年2月12日から27日まで開催されるノルウェー・リレハメル冬季オリンピック大会のアイスホッケー会場として使用される予定である。着工は1991年の3月で，完成は今年の4月になるみこみである。

建設地点はノルウェーの首都オスロの北約120キロメートルにあるヨービック市の山岳部で，規模は幅61メートル，高さ約25メートル，長さ91メートルである。5830人を収容できる。建設中にトラック2万9000台分の石がけずりだされた。

わざわざ山をくりぬいてこのような施設をつくったのは，ヨービック市の中心にあり便利であること，市の環境や建築物をそのままにしておけること，運営維持費が低いことなどからである。

空洞を構築するにあたっては，ノルウェー地質工学研究所がまず地質として安全な場所を選び，次にコンサルタントエンジニアと国立科学技術研究所が協力して入念な候補地調査を行った。

オリンピックが終わったあとは，スポーツ施設としてばかりでなく，さまざまなイベントに使われる。ノルウェーの山岳地帯をミニチュア化したロックガーデンなど，地質学関連の展示を行うといった利用方法も考えられている。

人工衛星を修理する宇宙ロボット

昨年5月，スペースシャトル「エンデバー」の宇宙飛行士3人が，打ち上げに失敗し回転している衛星を，3度の挑戦でやっとつかまえた。このように危険な作業はロボットにまかせられないだろうか，と富士通株式会社が高機能な宇宙ロボットの開発を進めている。

無重力状態ではロボット自体の動きにともなう反作用があり，制御がむずかしい。このため本体カメラでは相手衛星の運動推定と，ロボット本体の移動制御を行い，アームの先につけたカメラでは，リアルタイムの視覚計測とアームの追跡制御をまかせることにした。

21世紀はじめには人工衛星の燃料の補給，故障の修理，宇宙ステーションの組み立てなどに役立てることをめざしている。

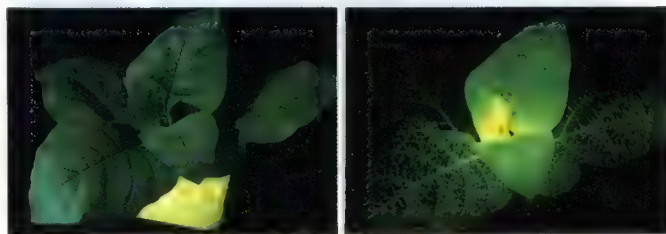
ホタルの遺伝子をもつ植物

下の2枚の写真のうち左側は，明るいところでみた植物のタバコである。同じ植物を暗やみでみると(右側)，淡い光を発しているのがわかる。実はこの植物は，ホタルの遺伝子をもっているのである。

宮城県農業センターでは，バイオテクノロジーを用いて光る植物の開発に取り組んでいる。ホタルは腹部の発光器官で，ルシフェラーゼという酵素の作用により，ルシフェリン(発光素)を酸化して光を放っている。そこでルシフェラーゼをつくる遺伝子を組みこんだ植物に，ルシフェリンを根や茎から吸収させれば，葉や花を光らせることができる。

同センターは，ホタルの遺伝子をアグロバクテリウムという細菌を利用してタバコに導入し，発光させることに成功した。明るさはホタルの成虫には遠くおよばないものの，ホタルの幼虫やツキヨタケには負けていない。数メートル以上はなれても幻想的に光るのが肉眼ではっきり観察される。

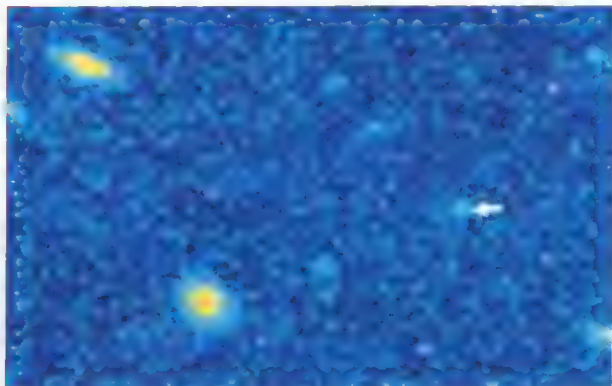
当面は観賞用に「光るカーネーション」の実現をめざす。光の色をかえたり，花びらだけを光らせたりすることも考えられる。ゆくゆくは夜道の誘導あるいは危険個所の表示などにも利用できるようになれば，と同センターでは夢をふくらませている。

サイエンス・ウォッチ

冥王星の彼方に新天体を発見！

太陽系の起源のなぞを解くかぎとなるか？

太陽系で最も遠い天体が発見された。

太陽系には9個の惑星（わくせい）がある。最も外側をまわるのは冥王星（めいおう）である（ただし冥王星の軌道が傾斜して海王星の軌道と交差しているため，1979年から1999年までは海王星が太陽系の最も外側の惑星である）。1930年に冥王星が発見されたのち，半世紀以上にわたって，冥王星の外側に未知の天体があるかもしれないと考えられてきた。1992年8月末から9月はじめにかけての観測で発見された太陽系で最も遠くにある天体は，天文学者が長い間さがしていた10番目の惑星なのだろうか。それとも彗星（すいせい）の起源のなぞを解く別種の天体なのだろうか。

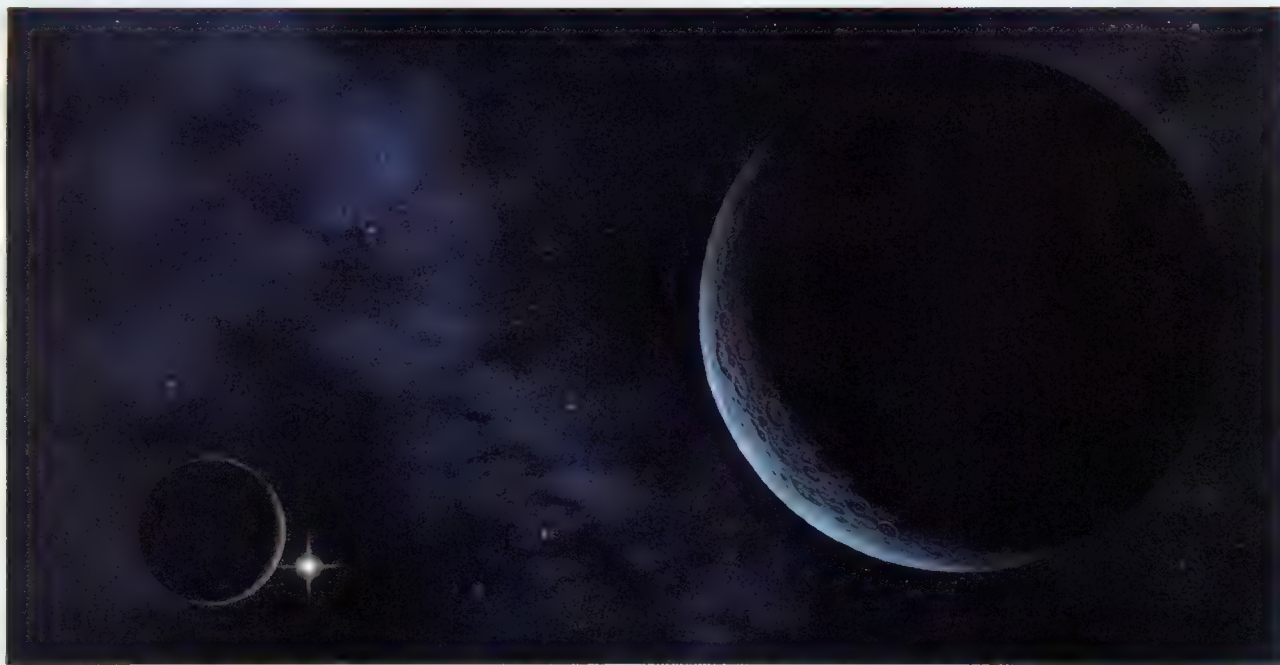
ハワイ大学のデビッド・ジューイットとカリフォルニア大学バークレー校のジェーン・ルーは，ハワイのマウナケア山頂にある直径2.2メートルの望遠鏡を使って，5年前から太陽系の外縁部を調べていた。

CCDカメラで撮影された1992QB1（矢印で示した部分）。

そして4か月前，CCDカメラで撮影した6枚の写真の中に，恒星（こうせい）の間を移動する23.5等級の小さな天体を発見した。「1992QB1」と名づけられたこの天体は，直径が約200キロメートル，地球からの距離は37～59天文単位とみられている。1天文単位は太陽と地球間の距離で，1億5000万キロメートルであるから，1992QB1は地球から56億～89億キロメートルの距離にいることになる。

冥王星の軌道は太陽から約40天文単位の距離にある。したがって1992QB1には，冥王星の軌道より内側にある可能性も残されている。

問題の天体は10番目の惑星か？

冥王星の外側の軌道をまわる10番目の惑星については，いくつもの説がある。しかし発見の試みはつねに失敗に終わってきた。

10番目の惑星が考えられたそもそもの理由は天王星の軌道の乱れ，すなわち摂動にあった。1781年にウイリアム・ハーシェルが発見した天王星には，その後軌道の狂いが発見された。これは未知の惑星による重力の影響と考えられ，その軌道が予測された。1846年，予想どおりに海王星が発見された。ところが問題は解決されなかった。海王星の質量だけでは天王星の摂動を説明することができなかったのだ。海王星のさらに外側をまわる惑星が想定され，1930年に冥王星が発見された。しかしいぜんとして問題は残っている。冥王星の質量は小さすぎるのである。

冥王星(右)とその衛星カロン。太陽系で最も外側をまわるこの惑星のさらに外側に，新たな天体がみつかった。

それではほんとうに冥王星の外側に10番目の惑星Xが存在するのだろうか。その可能性は残されている。しかし惑星Xにとって不利なことは，20世紀に入ってから天王星や海王星の摂動そのものが観測されていないことである。惑星Xは，今ではこれらの二つの惑星から遠くはなれた場所を移動しているのかもしれない。

彗星の巣，カイパー・ベルトの証拠か？

その軌道や大きさからして，1992QB1は10番目の惑星ではなく，「カイパー・ベルト」を構成する天体の有力候補と考えられている。

カイパー・ベルトというのは，1950年代にアメリカの天文学者ジェラルド・カイパーが提唱した氷とちりからなる小天体の群れで，いわば「彗星の巣」ともいうべきものである。彗星の巣としては，太陽から1光年以上はなれたあたりを取り巻く「オールトの雲」が有名だが，カイパー・ベルトは冥王星の外側あたりに帯状に分布し，ハレー彗星のような短周期彗星の供給源になっていると考えられている。1992QB1はその存在を証明する最初の例かもしれないのだ。ジューイットとルーも実はそのような天体をさがしつづけていたのである。

QB1の正確な軌道を決定するには数か月がかかる。したがってまもなく，それがほんとうにカイパー・ベルトを構成する天体かどうかがわかるだろう。もしもそうならば，これから次々に同じような天体が発見されるだろう。QB1の軌道が予想されるカイパー・ベルトの軌道からかけはなれていた場合は，われわれは太陽系の彼方に新たに奇妙な天体を発見したことになる。結果がどうであれ，太陽系の果てに，未知の天体が存在していたことはまちがいない。

太陽系の起源を解明する手がかりに

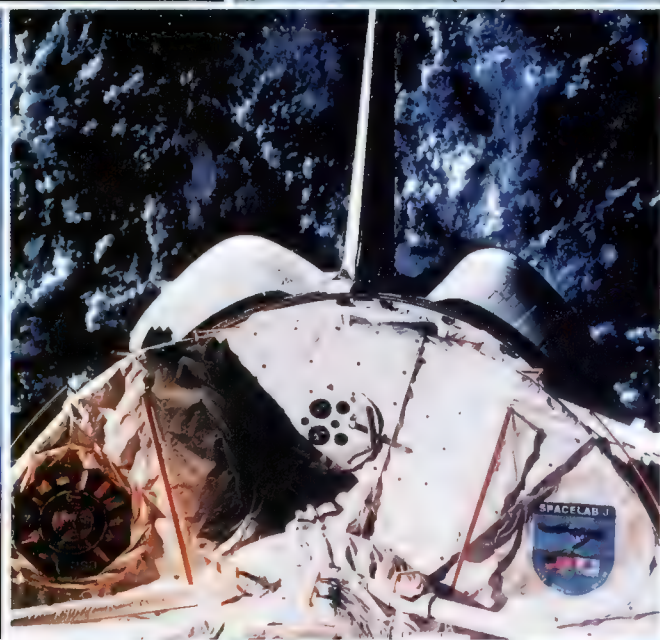
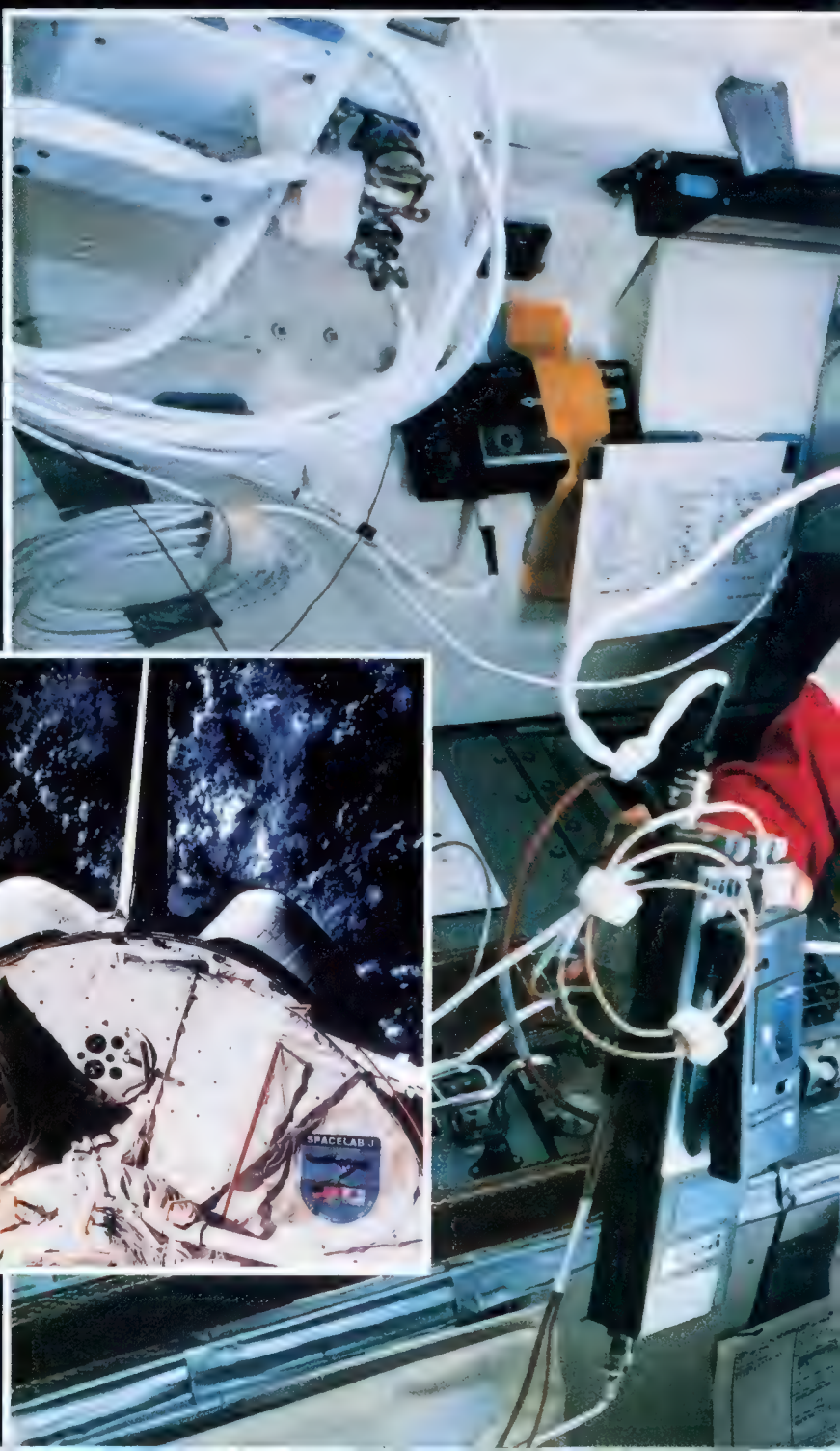
1992QB1は氷を主成分とする天体だが，興味深いことに，その表面はオレンジ色をしている。このことは有機物の存在を示している。太陽からの紫外線や宇宙線によってメタンのような物質が化学反応をおこし，このような色をつくったのであろう。

QB1発見の意義は彗星の起源を説明することにとどまらない。重要なのは，こうした天体が太陽系誕生直後の情報をそのまま保存している点である。カイパー・ベルトが存在するならば，それは原始太陽系の円盤から惑星が形成されていったころ，その外側の物質が取り残されてできたものにちがいない。QB1は，太陽系の化石のような天体なのである。

ZOOM & FOCUS 特別レポート

毛利さんの宇宙

そして新しいチャレンジ

スペースシャトル，エンデバーに乗りこんだ毛利衛さんの飛行は，日本にもようやく本格的な宇宙実験の時代が到来したことを告げるものであった。宇宙開発事業団ではすでに次の計画が進められている。毛利さんの8日間の宇宙生活を振り返るとともに，日本の宇宙実験の将来を紹介しよう。スペース・ステーションが稼働するようになれば，Newtonの読者も宇宙実験に参加できるかもしれない。

生活 徹底報告 がはじまった！

協力 宇宙開発事業団
NASA（アメリカ航空宇宙局）

PART I

毛利さんの宇宙生活8日間

日本人宇宙飛行士，毛利 衛(まもる)さんが乗りこむスペースシャトル，エンデバーの打ち上げは1992年9月11日に予定されていた。しかし準備の遅れから9月1日になって1日延期が決定され，12日午前10時23分(アメリカ東部時間，以下同じ）の打ち上げとなった。

今回のフライトSTS47はスペースシャトルにとって通算50回目，チャレンジャー事故後の飛行再開以来25回目の飛行である。

エンデバーのペイロード・ベイには宇宙実験室「スペースラブJ」が積みこまれている。この中で，日本の宇宙開発事業団(NASDA)が計画した「第1次材料実験：FMPT」(愛称「ふわっと '92」）が行われるのである。

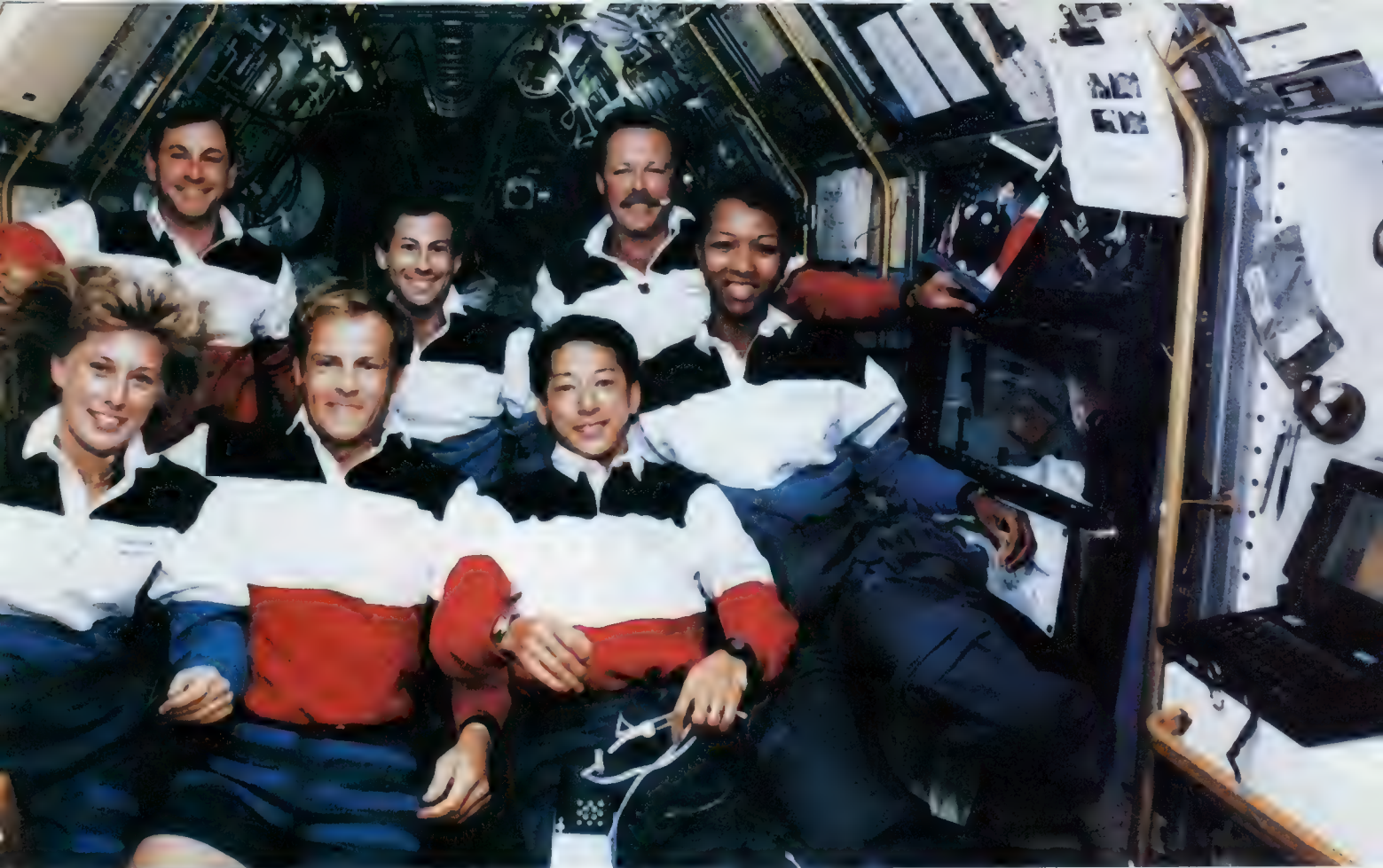
打ち上げのための秒読みは9日の午前3時にはじまった。このときがTマイナス43時間，つまり打ち上げ43時間前である。この時刻から実際の打ち上げ予定時刻までは79時間23分ある。これは秒読みの途中に「ホールド」とよばれる秒読み中断が幾度か入るためである。打ち上げまでには各チームが多数の準備作業を完了させなくてはならない。それぞれの作業の進行を調節するために，合計36時間23分のホールドが設定されているのである。

毛利さんは9日にほか6人のクルーとともに，テキサス州ヒューストンのジョンソン宇宙センターからケネディ宇宙センターに到着した。

エンジン出力100%，宇宙へ向けて

打ち上げの日，毛利さんは午前5時30分ごろに起床した。朝食後，オレンジ色のフライ

オレンジ色のフライト・スーツを身につけ，発射台に向かうSTS47スペースラブJミッションのクルー。

1秒の狂いもなく予定どおりに打ち上げられたスペースシャトル，エンデバー。エンデバーにとって今回が2度目の飛行であった。

エンデバーに乗りこんだSTS47スペースラブJミッションのクルー。前列左からジャン・デイビス飛行士，マーク・リー飛行士，毛利さん，メイ・ジェミソン飛行士。後列左からカーティス・ブラウン操縦士，ジェローム・アプト飛行士，ロバート・ギブソン船長。クルーはレッドチームとブルーチームに分かれ，12時間交代で実験を行った。着ているものの色がチームの別をあらわしている。デイビス，リー両飛行士は世界ではじめていっしょに宇宙を飛んだ夫婦となった。またジェミソンさんは黒人女性としてはじめて宇宙を飛んだ。

ト・スーツに着がえる。7時すぎ，毛利さんはほかのクルーといっしょに元気に手を振りながらOCB（整備・点検棟）を出発した。バスに乗り，いよいよ発射台へ。地上45メートルにあるアクセス・アームまでエレベーターで上り，ホワイトルームとよばれる先端の小部屋からエンデバーに乗りこんだのは，7時50分ごろだった。

打ち上げの準備作業はおどろくほど順調に進んだ。10時14分には予定どおり最後の10分間のホールドが終わり，最終的な秒読みが開始された。

Tマイナス7分30秒，アクセス・アーム後退。Tマイナス3分30秒，エンデバーの電源を内部電源に切りかえ。Tマイナス3分25秒，メイン・エンジンのジンバルを飛行位置に。Tマイナス1分15秒，発射台下の放水開始。Tマイナス31秒，発射までの秒読みをエンデバー内のコンピューターに移管。Tマイナス21秒，固体燃料ロケット・ブースターのジンバルを飛行位置に。Tマイナス6.60秒，第1メイン・エンジン点火。

つづいて第2，第3メイン・エンジンも点火され，Tマイナス0秒，固体燃料ロケット・ブースター点火。エンデバーはゆっくりと発射台をはなれた。6秒で発射台をクリアーし，120度ロールを開始。一度しぼったメイン・エンジン出力をふたたび100%にして，エンデバーは力強く上昇していった。

打ち上げ後2分4秒，固体燃料ロケット・ブースターが燃えつき，切りはなされた。8分34秒後，メイン・エンジン停止。外部燃料タンクを切りはなしたあと，軌道操作エンジンを2度噴射させて，エンデバーは予定の軌道に乗った。

新鋭機の名は「エンデバー」——努力

エンデバーにとってSTS47は1992年5月の飛行につづく2回目の飛行である。エンデバーは，1986年1月28日の事故で失われたチャレンジャーの代替機として建造された新鋭機である。

スペースラブ内で動物細胞の培養実験を行う毛利さん。顕微鏡で観察した結果を記録している。毛利さんが背負っているバックパックの中には，宇宙空間での毛利さんの健康状態をモニターするための装置が入っている。

エンデバーの外観はこれまでのオービターと同じだが，いくつかの点で改良が加えられている。搭載しているコンピューターは性能が向上しており，計算速度が3倍，メモリーの容量が2倍になった。慣性航法装置用のセンサーや位置測定用のスター・トラッカーなどは新型となり，着陸時にブレーキの役目をするドラッグ・シュートが装着された。また燃料タンクの増設をはじめ，改良型廃棄物処理システムや再生型二酸化炭素除去装置の採用などにより，最長28日間の宇宙飛行も可能になった。

エンデバーに乗り組んだのは合計7人である。ロバート・ギブソン船長は今回が4度目の飛行で，すでに442時間の宇宙滞在経験をもつベテランである。カーティス・ブラウン操縦士はこれが最初の飛行になる。ミッション・スペシャリスト（搭乗運用技術者）として乗り組むのはマーク・リー，ジェローム・アプト，ジャン・デイビス，メイ・ジェミソンの4宇宙飛行士。

リー飛行士はスペースラブJのミッション・コマンダー（実験チームのリーダー）である。金星探査機マゼランを打ち上げた1989年のSTS30で初飛行し，今回が2回目の飛行である。アプト飛行士も2回目の宇宙飛行である。1991年のSTS37の初飛行では船外活動も行った。

今回が初飛行であるジャン・デイビス飛行士は，スペースラブJの訓練期間中にリー飛行士と結婚している。彼らはいっしょに宇宙を飛ぶ最初の夫婦となった。医師でもあるメイ・ジェミソン飛行士は宇宙を飛ぶ最初の黒人女性である。

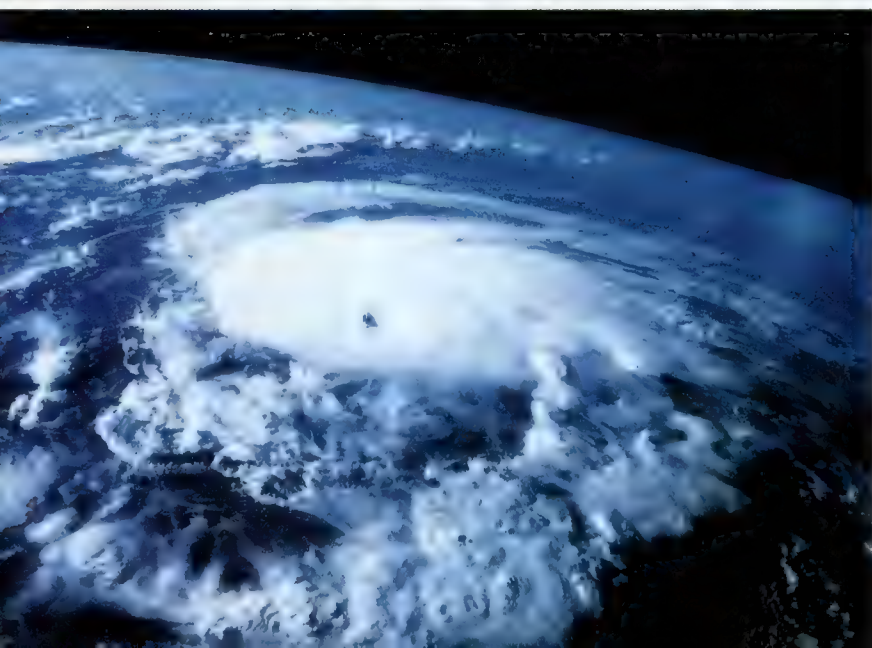
毛利さんはペイロード・スペシャリスト（搭乗科学技術者）としてエンデバーに乗りこんだ。1985年に日本人初の宇宙飛行士の1人として選ばれてから7年，待ちに待った宇宙飛行である。

ラック10に水もれが発生

エンデバーが軌道に乗ると，飛行士たちはまずフライト・スーツとヘルメットを脱ぐ。

毛利さんは日本の子供たちのために「宇宙授業」を行った。リンゴを使って無重力状態の解説をしたり，宇宙で紙飛行機を飛ばす実験などをした。

宇宙からは地球の表面のようすがよくみえる。エンデバーから撮影した巨大なハリケーン，ボニー。

エンデバーのミッドデッキでの風景。毛利さんがもってきたはしで食事をしようとしているところ。毛利さんはいくつかの日本食ももっていった。右がギブソン船長，左はブラウン操縦士。

ふと窓の外をみると，真っ暗な宇宙空間に青い地球が浮いていた。このとき毛利さんは「やっと宇宙にきた」という実感をはじめてもったという。

軌道上での毛利さんの最初の仕事はスペースラブの立ち上げであった。リー飛行士と毛利さんがエンデバーのミッドデッキからトンネルを抜けてスペースラブ内に入ったのは，打ち上げから約3時間後のことであった。

実験装置をチェックしていたリー飛行士は，ふわっと '92の実験用ラック10の冷却用配管のバルブ付近に水もれがあるのを発見した。ラック10は二つある材料実験用ラックの一つで，高温加圧型電気炉，温度勾配型電気炉，音波浮遊炉などの装置が組みこまれている。もれていた水の量は数十cc程度と少ないが，宇宙空間では重大な事故につながりかねない。そのためすぐにバルブが閉じられ，冷却系は遮断された。このままラック10が使用できないと，ふわっと '92で計画していた材料実験の約半分ができなくなる。水もれのトラブルはすぐに地上に連絡され，対応策が検討されることになった。

わずか90分で地球を1周

エンデバーは高度約300キロメートルの円形の軌道をまわる。地球を1周するのに90分かかるので，エンデバーの上では1日に16回，昼と夜が訪れることになる。

軌道上では乗員7人のうちギブソン船長を除く6人がレッドチームとブルーチームに分かれ，12時間交代で宇宙実験を行うことになっていた。毛利さんはリー飛行士，ブラウン操縦士とともにレッドチーム。アプト飛行士，デイビス飛行士，ジェミソン飛行士がブルーチームであった。

毛利さんの一日の生活はだいたい次のようなパターンになっていた。睡眠時間は8時間。起床すると2時間ほどの自由時間がある。この間に洗面や食事をし，ブルーチームとの引きつぎを行う。その後12時間，ラブ内で実験を行う。途中に1時間昼食がある。実験が終わり，ブルーチームと引きつぎを行ったあとは

2時間ほどの自由時間。この間に休息をとったり，夕食を食べたりする。そして睡眠。毛利さんの場合，遅れぎみのスケジュールをこなすために自由時間も実験にあてることが多かった。

宇宙空間に出ると多くの飛行士が宇宙酔いに悩まされるといわれている。宇宙に出た最初の日，毛利さんも宇宙酔いになった。頭がぼんやりし，吐き気に襲われるなどの症状が出たという。しかし2日目以降，そうした症状はなくなった。

水もれの修理も無事終了

リー飛行士とブラウン操縦士が水もれの修理作業を開始したのは，打ち上げから1日と7時間35分後のことであった。水もれの原因はバルブ部分のパッキングのナットがゆるんでいるためとわかった。ナットをしめつけることによって水もれはなくなった。打ち上げ時のはげしい振動でナットがゆるんでしまったのかもしれない。作業は2時間ほどで無事終了した。

こうしてラック10での材料実験も開始されることになった。しかし打ち上げからすでに1日以上経過しており，予定の飛行時間内にラック10の全実験を終了できるかどうか懸念(けねん)がもたれた。NASAは16日朝，19日に予定されていた帰還を1日延長することを決定した。この結果，心配された材料実験もすべて行うことができた。

ふわっと '92は日本が行うはじめての本格的な宇宙実験である。宇宙開発事業団が計画した実験テーマは合計34。このうち材料関係の実験テーマは22。ライフサイエンス関係の実験テーマは12である。さらに毛利さん自身の健康状態をチェックするための医学データも収集された。NASAは宇宙でのカエルの卵の発生，タンパク質の結晶成長など九つの実験を行った。

毛利さんの宇宙実験は最初の日から多忙をきわめた。そのうえ日本のライフサイエンス実験の中には，毛利さん自身が被験者になるものもあった。

10年後に活躍するのは君だ。

宇宙実験を超人的にこなす一方で，毛利さんは「宇宙授業」や地上の記者団との会見，宮沢総理との会話なども行った。

16日に行われた宇宙授業では，毛利さんの出身校である北海道余市町の黒川小学校および東京のNHKのスタジオとエンデバーを結び，毛利さんは日本の子供たちのためにリンゴを使った無重力状態の解説や紙飛行機の実験などを行った。このような宇宙授業の試みはアメリカでも行われたことはなかった。もちろん日本でははじめてのことである。茶の間に直接飛びこんできたエンデバーからの映像によって，多くの人々が宇宙を身近に感じたにちがいない。

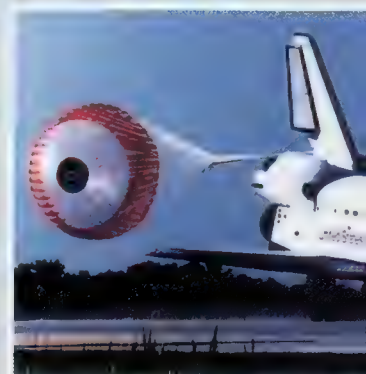
「無重力状態もなれれば快適」「あと10年，20年たつと，スペース・ステーションができ，もっと簡単に宇宙旅行ができるようになる。そのときに活躍するのは，今テレビをみている皆さんです」など，毛利さんは熱心に子供たちに語りかけた。

17日の記者会見では宇宙での生活や健康状態について語った。

また18日の宮沢総理との会見のあと，毛利さんは宇宙からみた日本列島について報告してきた。「わずか300万年前に登場した人間が，今や地球の環境を左右しようとしている。地球の大気と水を守ることがわれわれの課題だと思う」と，毛利さんは宇宙からの印象を語っている。

地球を126周し，さわやかに帰還

当初の予定ではエンデバーは，20日の午前7時19分にケネディ宇宙センターに帰還することになっていた。

ところがフロリダ半島には前線が近づいており，着陸時の気象条件が悪化する懸念があった。こうした場合，スペースシャトルはカリフォルニア州のエドワーズ空軍基地に着陸することもできる。しかし，今回はケネディ宇宙センターで試料回収チームが待機しているため，どうしてもフロリダにもどりたい事

エンデバーは飛行を1日延長し，9月

エンデバーから降り立った毛利さん

STS47スペースラブJ 8日間の飛行

1 打ち上げ 9月12日午前10時23分00秒(アメリカ東部時間)
2 固体燃料ロケット・ブースター切りはなし。
3 外部燃料タンク切りはなし。
4 軌道操作エンジン点火。予定の軌道へ。
5 地球を周回。実験中の重力の影響をなるべく少なくするため，エンデバーは地球に対して垂直の姿勢で飛ぶ。水もれのトラブルのため，飛行日数を1日延長。
6 9月20日午前7時52分，軌道離脱のため，尾部を進行方向に向けて軌道操作エンジンに点火。
7 大気圏再突入。
8 滑空してケネディ宇宙センターへ。
9 午前8時54分11秒，着陸。飛行時間7日22時間31分11秒。

20日に帰還した。

はとても元気そうだった。

情があった。

NASAは126周目に帰還することになっていたエンデバーをもう1周させ，天候状態をみたうえでケネディ宇宙センターに着陸させるという決定をくだした。

7時52分，エンデバーは軌道操作エンジンに点火し，地球周回軌道を離脱した。着陸地点のほぼ反対側，オーストラリア南の上空である。秒速8キロメートルの猛スピードで大気圏に再突入したエンデバーはオレンジ色の炎に包まれた。空気との摩擦によって生じる高温のためである。機首や主翼の縁の部分では1500度C以上にも達するが，機体全面にはられた耐熱タイルや断熱材がエンデバーを守っている。この状態は「ブラックアウト」とよばれる。空気がプラズマ化し，地上との通信が途絶するためである。

スペースシャトルのメイン・エンジンは上昇時に燃料を使いきってしまう。したがって帰還時には動力を使わず，グライダーのように滑空(かっくう)して地上に着陸する。スペースシャトルの機体はリフティング・ボディとよばれる高速滑空飛行に適した設計になっているのである。

エンデバーは大きく左にバンクして針路を東方向にかえながら，ケネディ宇宙センターをめざして降下していった。心配された天候の悪化もない。朝をむかえるフロリダ半島には青い空が広がっていた。ブラックアウトを抜けてまもなく，地上からもエンデバーの機影がみえてきた。

9月20日午前8時54分11秒，エンデバーはケネディ宇宙センターの33滑走路に無事着陸した。打ち上げから7日と22時間31分11秒。地球を126周と少しまわり，約530万キロメートルを飛んだ。

チャレンジャー事故などの影響でだいぶ遅れてしまったが，宇宙開発事業団が10年以上をかけて計画した日本初の本格的な宇宙実験ふわっと '92は成功した。オービターから姿をあらわした毛利さんは，さわやかな笑顔で手を振っていた。

PART II

「ふわっと'92」の成果

スペースシャトル，エンデバーで行われた「第１次材料実験：FMPT」(愛称「ふわっと'92」)は日本にとって重要な意味をもつ宇宙実験だった。

まず，ふわっと '92は日本にとってはじめての本格的な宇宙実験だったということがある。実験テーマの選定，搭載(とうさい)実験装置の開発・製作，宇宙で実験を行うペイロード・スペシャリストの選抜・訓練から，エンデバー上での実際の実験まで，宇宙開発事業団としてはすべてがはじめてといってよい経験であった。日本ではこの分野の技術的な蓄積が少なかったが，ふわっと '92によって宇宙実験に必要な数々のノウハウを手に入れることができた。

ふわっと '92の実験テーマの選定がはじまったのは1979年であるから，足かけ14年かかったことになる。1988年の打ち上げ予定が，チャレンジャー事故などで4年間ものびてしまった。そのため，ふわっと '92の実験はすでに古いという批判もあった。これについて計画の初期からかかわってきた東京工業大学工業材料研究所教授の澤岡昭さんは，「たしかに古くなってしまったと思われる実験もある。しかし，ふわっと '92は日本が自分の手で一度はやらなくてはならなかった実験で，次のためのステップでもあり，むだではなかった。国際競争の最先端領域の実験も多かった」と語っている。

ふわっと '92はアメリカとの共同プロジェクトでもあった。今後の宇宙実験に国際協力は欠かせない要素である。「ふわっと '92は将来のスペース・ステーションで行われる全面的な国際プロジェクトの予行演習という性格ももっていた。この点で今回の日米協力は非常にうまくいった」と，澤岡さんはいう。

「ふわっと '92を実際に行ってみて，宇宙実験を有人で行う利点が明らかになった」と語るのは宇宙開発事業団宇宙実験グループ主任開発部員の長岡俊治さんである。無人の実験では宇宙で予想外の事態がおきても手を打てないことが多い。「しかしだれかが宇宙にいれば，その場で適切な対応をとることができる。水もれ事故を修理できたのはその典型的な例である。今回はそのようなことに対処するための準備が必ずしも十分でなかった面もあったが，今後のよい経験となった」

そのほか「はじめての宇宙実験用装置がきちんと動いたこと，軌道上と地上が一体となってリアルタイムで行う作業を経験できたこと，国際協力ミッションの進め方や訓練のしかたを勉強したことなど，多くの成果があった」と長岡さんはいう。

スペース・ステーション計画には日本も独自の実験モジュールJEMで参加する。JEMでは日本人宇宙飛行士が常時滞在して実験を行う。本格的な有人宇宙活動の時代が日本でもはじまろうとしているわけだ。その意味でもふわっと '92は貴重な経験だったということができる。

実験は予定どおりにすべて完了

ふわっと '92の各実験の研究者は，アラバマ州ハンツビルにあるマーシャル宇宙飛行センターのPOCC（実験運用管制所）とよばれる部屋に待機して，実験のなりゆきを見守った。宇宙で実験をする飛行士と交信するのは，毛利さんのバックアップとして同じ訓練を受けてきた向井千秋さん，土井隆雄さん，スタンレー・コズラックさんの役目である。3人は8時間交代で勤務についた。各研究者はこの3人を通して実験の経過を聞き，飛行士とディスカッションを行い，必要な指示を出した。

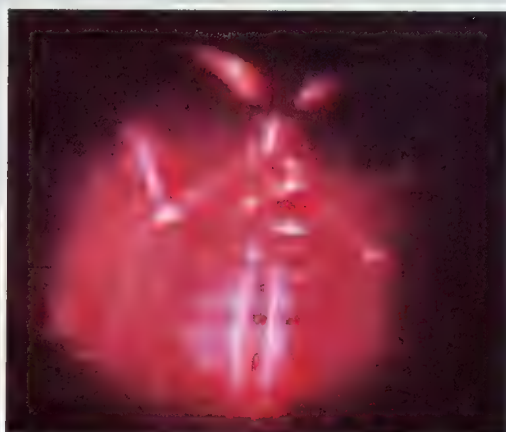
材料実験用のラック10に水もれが発見された直後は，地上の研究グループに衝撃が走っ

毛利さんのバックアップを勤めた向

ラック10の水もれのようす。矢印が

イメージ炉で鉛錫テルルの大型単結

井さん，土井さん，コズラックさん（左から）。実験中は交代で毛利さんと交信した。

指す丸く白っぽい部分がもれた水。

音波浮遊炉での実験。下の丸い部分がとけたガラスの試料。

晶をつくる実験

た。10年以上かけて準備した実験が肝心(かんじん)の本番でできなくなってしまうからである。しかし翌日，水もれは修理された。飛行日数が1日延長されたことによって，すべての実験が行われただけでなく，いくつかについては再実験を行うこともできた。

向井さんは「実験は予定どおりすべて完了した。宇宙開発事業団，研究者，メーカーが経験を蓄積できた」と実験の成果を語る。また土井さんは「宇宙での無重力の現象を楽しんだ。すばらしいミッションに参加できてとても気分がよい。入学試験に合格したようなもので，今後が本番。次につづく者に大きな自信をあたえたミッションだった」と語っている。

水もれは材料系23番目の実験？

ふわっと '92の材料系22の実験は，大きく二つのグループに分けることができる。無重力環境を利用して新しい材料をつくる実験。そして材料製造技術の改善と向上をはかるための実験である。

新材料の製造実験には鉛錫(なまりすず)テルル，インジウム・アンチモン，インジウム・ガリウムヒ素，赤外線用高純度ガラス，有機金属化合物などの結晶を宇宙でつくる実験と，無重力下では物質が均一にまじることを利用して合金や複合材料，アモルファス半導体などをつくる実験があった。

材料製造技術の改善と向上をめざす実験には，高温でのガラスの熱融解のようすを調べる実験，無重力下の液滴や泡(あわ)の位置を音波で制御する実験，液体表面に発生する「マランゴニ対流」を調べる実験などが含まれていた。

イメージ炉を使ってインジウム・アンチモン化合物半導体の大型単結晶をつくる実験を行った科学技術庁金属材料技術研究所機能特性研究部第3研究室長の中谷功さんは，「表面張力で支えられたきれいな液柱がVTRで観察でき，実験は成功だった」と語っている。マーシャル宇宙飛行センターに行った研究チームのリーダーとして，中谷さんは材料実験全体について次のようにも語っている。「水もれのトラブルも処理され，実験はすべてうまくいった。これまでのスペースラブ実験では予定された実験の半分ぐらいしか終了しないこともあったので，これはたいへんよい成績だった」

極端に比重のことなる炭素繊維とアルミニウム合金粉を無重力下で均一にまぜて複合材料をつくる実験を行った東京工業大学工学部教授の鈴木朝夫さんも，「試料を分析してからでないとわからないが，感触として実験はうまくいったと思う」と語っている。また宇宙での実験について「無人の自動制御実験が理想的と考えてきたが，毛利さんの実験のよう

すをみて，いろいろなハプニングのおきる有人実験も面白いと感じた。水もれのトラブルでは，水がぽたぽたたれるのではなく，装置にくっついていた。このようすをみることができたのも貴重で，材料系の23番目の実験ともいえる」と感想をのべている。

予想外の出来事や実験結果も

通商産業省工業技術院大阪工業技術試験所ガラスセラミック材料部ガラス工学研究室長の早川惇二さんの実験は，音波の定常波を使ってガラスの試料を浮かしたままとかし，高純度の材料をつくるというものであった。「炉内の温度が上がってから定常波が乱れるということはあったが，実験はうまくいき，音波で制御しながらガラスを溶融(ようゆう)することができた」と早川さんは語る。この実験はイメージ炉を使っているので，炉内のようすがVTRで地上に送られてきた。ただし衛星回線のつごうで，映像はとぎれとぎれになってしまった。「実験の一部始終をモニターでみながらペイロード・スペシャリストと直接交信できるようになれば，実験の精度はもっと上がるのではないか」と，早川さんは将来への期待をこめて語る。

宇宙での材料実験は無重力（正確には微小重力）環境を利用するものである。地球を周回するエンデバーは尾部を下にした地球に垂直の姿勢をとっていた。スペースラブ内での微小重力環境をなるべく理想的な状態に保つためである。スペースラブで得られる微小重力環境は約1000分の1〜1万分の1*G*である。ところがシャトル内でのちょっとした衝撃でも加速度がかかり，微小重力環境が破られてしまう。毛利さんも「ラブ内の冷蔵庫のモーターやバルブの開閉などでかなりの振動があった」と報告している。「ラブ内でできるだけよい微小重力環境を得たいというのは，多くの研究者が希望していること」と早川さんもいう。材料実験の今後の課題の一つであろう。

京都大学工学部教授の曽我直弘さんのガラスの高温挙動の実験では，炉内でとけた直方体のガラス試料が球形になるはずだったが，一部が突出したままで，球形にならなかった。「予定どおりのものができなかったので，実験終了のときは失敗だったと思った。しかし視点をかえてみれば，サイエンスとして面白い結果が出たと考えている。今後の解析で有意義な結果が得られると思う」と曽我さんは語っている。「すでに地上の実験で所期の目的は達していた。しかし今回の結果は将来の宇宙工場へ向けての基礎データとしても重要になるだろう」

微小重力での思いがけない現象も報告された。科学技術庁航空宇宙技術研究所宇宙研究グループ第10グループリーダーの東久雄さんの泡の挙動をみる実験では，シリコン・オイルの中につくった空気の泡に超音波をかけると泡は壁に向かって移動し，消えてしまった。「このような現象は地上の実験ではなかったことなので，今後の解析を待ちたい」と東さんはいう。

装置内に浮かせた液滴を音波で変形させる

液滴の制御実験。装置内に浮かした液滴を音波で変形したりする実験だった。無重力状態では付着力が想像以上に強く，液滴はなかなか針からはなれなかった。

「ふわっと '92」材料実験一覧

No.	テーマ名称	代表研究者	結果
●新材料創製			
M-1	狭バンドギャップ三元混晶半導体鉛錫テルル単結晶の無重力下における結晶成長	山田智秋　日本電信電話㈱基礎研究所	実験はプログラムどおりに終了したが，結果はサンプル，データなどを解析してから。
M-2	無重力下における帯溶融法によるPbSnTe大型単結晶の試作	岩井荘八　理化学研究所	VTRをみたところ地上実験とはかなりようすがちがっていた。細かい泡が均一に分布し，試料の溶解部の幅が一定で地上よりきれいだった。試料を分析後4月ごろに結果が出る予定。
M-3	浮遊帯域溶融法による化合物半導体結晶の作製	中谷　功　科学技術庁金属材料技術研究所	表面張力で支えるきれいな液柱がVTRで観察でき，実験は成功だった。ただし内容の分析はサンプルやデータ，VTRが届いてから。
M-4	新超電導合金の溶製	戸叶一正　科学技術庁金属材料技術研究所	実験はプログラムどおりに終了して6種類のサンプルを得た。結果はサンプル，データなどを解析してから。
M-6	粒子分散型合金の作製	村松祐治　科学技術庁金属材料技術研究所	データをみていないのではっきりしたことはいえないが，炉の温度が予定よりも高くなったと聞いた。自動制御実験なので何がおきたかはデータの解析をしてみないとわからない。結果はサンプルを切って分析してから。
M-11	高剛性・超低密度炭素繊維/アルミニウム合金複合材料の製造研究	鈴木朝夫　東京工業大学工学部	温度やリンクダウンのようすなどをみるかぎりはうまくいったと思う。資料を分析して，9月ごろに結果が出る予定。ロケットを使った予備実験では，温度が上がりすぎるなどのトラブルがあったが，今回はうまくいった。
M-13	無重力下におけるSiAsTeアモルファス半導体の構造	浜川圭弘　大阪大学基礎工学部	プログラムどおりに終了，6個のサンプルを得た。ロケットを使った予備実験をくりかえしているので，おそらく思ったとおりのものができていると思う。
M-17	非可視域用光学材料の研究	早川惇二　通商産業省工業技術院大阪工業技術試験所	ガラスの溶融はうまくいった。炉内の温度が上昇した際に音波の定常波が乱れる現象がみられた。
M-20	無重力下におけるサマルスカイトの合成	竹川俊二　科学技術庁研究開発局	中谷氏の報告では，VTRでみたかぎり予定どおりに実験は進んだとのこと。しかしVTR，重力や電力に関するデータ，資料が届かなければ解析できないので，実験が成功だったかどうかは不明。
M-21	無重力環境下における有機金属結晶の成長	安西弘行　兵庫県立姫路工業大学理学部	7日間の結晶成長の結果はまだ装置を開けていないので不明。写真撮影のほうは西永氏の報告によればうまくできたということだが，実際に写真をみていないのでなんともいえない。半年後ぐらいに結果が出る予定。
M-22	無重力環境下における化合物半導体結晶の作製（InGaAsの研究）	龍見雅美　住友電気工業㈱基盤技術研究所	実験はプログラムどおりに終了。データ解析をしなければ成功かどうかは不明。
●地上の既存生産技術の改善および向上			
M-5	複合脱酸した鋼塊中の脱酸生成物の生成機構	福澤　章　科学技術庁金属材料技術研究所	表向きは異常なしとの報告を受けたが，結果はサンプルを解析してから。
M-7	2種の溶融金属の相互拡散および凝固生成する合金・化合物の組織と構造	檀　武弘　科学技術庁金属材料技術研究所	外からみた操作・運転状況には異常なし。順調に終了したと思う。結果は半年後ぐらいにわかる予定。
M-8	ガラスの高温挙動	曽我直弘　京都大学工学部	結果は予想とことなり，ガラスの球ができなかった。今後の解析で面白いデータが得られるだろう。またマランゴニ対流で試料の温度を一定に保つはずだったが，今回は均一とはいえず，精度の向上が必要だ。
M-9	シリコン球結晶の成長とその表面酸化	西永　頌　東京大学工学部	炉の温度制御は順調に作動した。予測としてはシリコンが融解して結晶成長がおきただろう。結果はサンプルを切断・化学処理して分析しなければわからない。4月ごろにはデータがそろうのではないか。
M-10	非混合合金系の凝固・成長に関する研究	神尾彰彦　東京工業大学工学部	実験はプログラムどおりに終了。結果はサンプルやデータを解析してから。サンプル到着後，組織を特定方向に切って顕微鏡や電子顕微鏡で調べるため，解析に1か月ぐらいかかる予定。
M-12	液相焼結機構の研究	小原嗣朗　東京理科大学基礎工学部	実験中にとくにトラブルもなくうまくいったと思う。半年後ぐらいにだいたいの結果が出る予定。
M-14	無重力下における気相金属凝結機構の研究	和田伸彦　名古屋大学理学部	4種類の実験はすべて順調に終了。予備実験では高圧のときに煙の噴流がおきて大きな金属粒子ができたが，今回送ってもらった一部のビデオをみたかぎりでは噴流はおきなかったようである。結果は解析を行ってから。
M-15	音波浮遊装置内での液滴の挙動と音波干渉履歴の研究	山中龍夫　科学技術庁航空宇宙技術研究所	液滴の付着力が予想以上に強かったために，きりはなしがむずかしかった。しかし針の先に液滴をつけたままでも予定どおりの実験データが得られた。
M-16	温度勾配および超音波定常波のある場における泡の挙動の解明	東　久雄　科学技術庁航空宇宙技術研究所	毛利さんの報告では，地上での予備実験ではみられなかった面白い現象があったとのこと。現在は一般的なシミュレーション解析を行っているが，ビデオ，データなどが届いたら，詳細な画像解析を行う予定。
M-18	無重力下での材料製造過程におけるマランゴニ対流の研究	塩冶震太郎　石川島播磨重工業㈱技術研究所	現地でみたモニターでは，自由液面が形成されてそれが安定に保たれたことと凝固がおきたことを確認。最初の実験で自由液面の形成が遅れ，再実験も行った。ビデオを受け取ってから総合的な解析を行う。
M-19	無重力条件下における共晶系合金の凝固に関する研究	大野篤美　千葉工業大学工学部	実験は順調に終了した。サンプルを調べてみないとわからないが，無重力下での凝固現象で何がおきたかかわかると思う。

泡の制御の実験で装置を振る毛利さん。この実験は液体の中にできた泡を，音波を使って移動させようというもの。装置内の比較的大きな泡を小さな泡にするために振ってみたが，なかなか小さな泡にならなかった。

という実験を行った科学技術庁航空宇宙技術研究所宇宙研究グループ総合研究官の山中龍夫さんも,「宇宙では付着力や表面張力がわれわれの想像以上に強かった」と話している。この実験では液滴を針の先からはなして浮かせることになっていたのだが，切りはなしに苦労した。

「微小重力といっても，たとえば10分の1*G*，100分の1*G*，1000分の1*G*では物理的性質がことなるかもしれない。今回の実験では，新しい知識が得られたというよりは，微小重力に対する知識が深まったといえるのではないか」と，山中さんはふわっと '92の印象を語っている。

毛利さん自身も被験者に

ライフサイエンス系12の実験も二つのグループに分けられる。生物試料を用いた培養(ばいよう)・分離・精製技術の向上をめざす実験。そして宇宙環境への適応をめざす実験である。

前者のグループのうち，細胞やタンパク質を分離する実験には電気泳動装置が使われた。電気泳動法は荷電物質を電場によって分離する方法である。酵素の結晶成長の実験は新材料の製造と同じように，無重力下で大型の単結晶を成長させるものである。また哺乳(ほにゅう)類の細胞培養実験には細胞にあたえる重力の影響をみるとともに，将来の宇宙空間での細胞培養技術のデータを得るという目的もある。

宇宙環境への適応をめざす実験には，コイの宇宙酔いの実験やニワトリの卵を使った骨の成長実験，毛利さん自身が被験者になった視覚安定性や手動制御特性の研究のように，無重力環境が人間にどのような影響をあたえるかをみる実験などがあった。宇宙放射線の影響を調べる実験もあった。

視覚安定性の実験を行った名古屋大学環境医学研究所助手の古賀一男さんと，手動制御特性の実験を行った科学技術庁航空宇宙技術研究所新型航空機研究グループ主任研究員の多田章さんはともに，打ち上げ後2日目に行われた最初の実験では毛利さんにむくみ，睡眠不足，疲れなどの兆候(ちょうこう)がみられ，かなりつらそうだったと語っている。

視覚安定性の実験では，頭部を固定し，眼球で目標を追って，そのときの首の筋肉の動きを記録する。「地上での実験では1試行の間隔は30秒で十分だが，毛利さんはそれ以上の時間，目を閉じて休んでいたようだ。はじめ筋電図がうまくとれなかったことによるストレスもあったかもしれない」と古賀さんはいう。手動制御特性の実験は，移動するターゲットが十字の真ん中にくるようジョイスティックで操作するテレビゲームのような実験である。「1日目に行われた1回目の実験では顔がむくみ，目の移動がつらかったようだ」と多田さんも語っている。しかし4日目に行われた2回目の実験と7日目に行われた3回目の実験では，毛利さんが無重力環境になれたことを示す結果が出ている。

毛利さんの健康状態をモニターしていた宇宙開発事業団航空宇宙医師の関口千春さんは「宇宙飛行士の70%は宇宙酔いになるというデータがある。毛利さんも最初の日はたいへんだったようだ。体液の移動による顔のむくみは3日目あたりがピークだった」という。

宇宙へ行ったさまざまな動植物

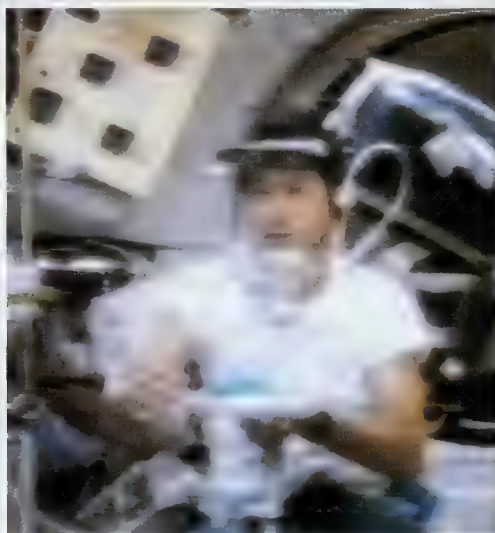
無重力を利用した酵素の結晶成長の実験を行った不二製油株式会社つくば研究開発センター中央研究所長の森田雄平さんは，「全体的に大型で良質の結晶が得られ，実験は成功だった」と語っている。地上でつくったものよりも宇宙でつくったもののほうが配列がきれいに成長しているという。

コイの宇宙酔いの実験を行った名古屋大学環境医学研究所助教授の森滋夫さんは，「コイ

コイの宇宙酔いの実験のためにテレビカメラをセットしたマーク・リー飛行士。光に反応するコイのようすを記録する。

毛利さん自身が被験者になった視覚安定性の実験。視覚が重力の影響を受けているかどうかを調べるための実験で，毛利さんは頭部を固定し，ターゲットを目だけで追っていく。

「ふわっと'92」ライフサイエンス実験一覧

No.	テーマ名称	代表研究者	結果
●生体材料の分離と調製技術の向上			
L-3	生体成分の無重力下での電気泳動法による分離条件の確認	黒田正男　大阪大学医学部付属共同研究実習センター	電気泳動装置の分離検出器の作動が不調で泳動パターンが得られなかったが，採取試料は入手した。分析の結果，試料は分離されていた。
L-5	無重力を利用した酵素の結晶成長	森田雄平　不二製油㈱つくば研究開発センター中央研究所	結晶の成長過程を写真で撮影。試料回収。ほとんどの試料が良質で大型の結晶に成長していた。しかし一部成長速度が地上よりも遅いものがあった。結晶の形状が地上での実験とちがう結果が出た試料もあった。
L-6	哺乳類培養細胞の超微構造と機能におよぼす無重力の影響に関する研究	佐藤温重　東京医科歯科大学歯学部	顕微鏡写真を撮影。試料回収。分析結果はまだ出ていない。
L-8	フリーフロー電気泳動による細胞の分離	山口登喜夫　東京医科歯科大学難治疾患研究所	電気泳動装置の分離検出器の作動が不調で泳動パターンが得られなかったが，採取試料は入手した。採取試料を分析中。
●宇宙環境への適応技術の確立			
L-1	搭乗者の内分泌系の反応および代謝変化	妹尾久雄　名古屋大学環境医学研究所	1日に6回，毛利さんの尿を採取。毛利さんの顔がかなりむくみ，体液の移動がおきていたと思われるため，尿の量がふえているだろう。一日の何時ごろに尿がふえ，宇宙滞在何日目に量が安定するかに注目している。
L-2	無重力順応過程における視一前庭性姿勢・運動制御の研究	森　滋夫　名古屋大学環境医学研究所	コイは2匹とも元気でもどってきた。実験自体はうまくいったが，今後脳波の分析をしてみないと，実験結果については何もいえない。
L-4	宇宙空間における視覚安定性の研究	古賀一男　名古屋大学環境医学研究所	1，4，7日目に眼電図と首の筋電図を記録。7日目には前庭動眼反射の実験も行った。まだデータが届いていないので地上に送られてきた映像から判断するしかないが，1日目よりも7日目のほうが視覚が安定していたようである。
L-7	骨と軟骨の発生と成長におよぼす無重力の影響	須田立雄　昭和大学歯学部	30個のニワトリの卵のうち地上で受精後10日が9個，7日が10個，0日が1個生きてもどってきた。現在結果を解析中。
L-9	HZEおよび宇宙放射線の遺伝的影響	池永満生　京都大学放射線生物研究センター	ショウジョウバエを回収。幼虫から成虫になる割合が地上よりも10%ほど高かった。交配を重ねて遺伝的影響を研究中。
L-10	無重力環境での知覚一動作機能の研究「手動制御特性の研究」	多田　章　科学技術庁航空宇宙技術研究所	毛利さんに3回実施。眼電図，筋電図を記録。無重力空間では初期状態から安定性は十分にある。制御性については初期ではかなり落ちるが，日がたつにつれ向上する。
L-11	宇宙放射線の生物への影響の検討と宇宙飛行士の放射線防御対策の開発	長岡俊治　宇宙開発事業団	トウモロコシとダイズの種，大腸菌など試料を回収。放射線の飛跡検出材の回収。生物試料については宇宙放射線の影響を分析中。
L-12	アカパンカビを用いた概日性リズムの研究	三好泰博　静岡県立大学	6本のカビの成長状態を写真に記録。成長速度が地上よりも速かったため，実験を1日短縮。成長リズムについては分析中。

視覚安定性の実験のあとに行われた手動制御特性の実験。テレビゲームに似ている。

は2匹とも元気で地上にもどってきて，ほっとした」と語っている。コイのようすを撮影したVTRに加えて，脳波の分析をしてみないと，実験の結果はわからないという。耳石（じせき）をとったコイは電極からのびているコードが12回ほどねじれてしまった。

このアクシデントについて，森さんは「宇宙に出てすぐにねじれてしまった可能性もある。耳石をとったコイは地上でもよく一方向に回転するので，無重力環境がこれを助長したのかもしれない。ただし今のところなんともいえない」という。耳石をとらないコイは3〜4日間で無重力に適応しているのではないかとのことである。

骨の成長を調べるために30個のニワトリの卵をエンデバーに積んだ昭和大学歯学部教授の須田立雄さんの実験では，20個の卵が生きて帰ってきた。エンデバーに積まれたのは受精後0日，7日，10日の卵各10個である。このうち受精後7日の卵は全部，10日の卵は9個が生きていた。受精後0日の卵で生きて帰ってきたのはわずか1個であった。「ゴールデン・エッグ」とよばれたこの卵は10月6日に死んだが，調べてみると16日齢まで成長していることがわかった。宇宙で死んでしまった受精後0日の卵のうち3個は3日間生きていた。4〜5日生きていたものもあり，「無重力が何らかの影響をあたえているのはまちがいないが，

『無重力環境下での初期発生はむり』というこれまでの見方は誤りだということがわかった」と須田さんはいう。

須田さんの実験は宇宙での初期発生の研究が本来の目的ではなく，骨の成長をみるためのものである。その意味では受精後7日と10日の卵の分析が待たれるところである。

「生き物を使った実験には材料実験とはちがった心労があった」と語るのは，ショウジョウバエを使って宇宙放射線による遺伝的影響を調べた京都大学放射線生物研究センター教授の池永満生さん。「ショウジョウバエやニワトリの卵，コイが無事で帰ってくるか心配でならなかった」という。ショウジョウバエは幼虫の段階で宇宙に連れていかれたが，成虫になる率は地上以上だった。地上では普通70〜80%が成虫になるが，宇宙では90%が成虫になった。宇宙放射線によって突然変異がおきたかどうかは，今後交配を重ねて調べていくという。

宇宙開発事業団の長岡俊治さんの実験も宇宙放射線，とくに高エネルギー粒子線が生物にあたえる影響を調べるものである。試料として使われたのはトウモロコシ，ダイズ，大腸菌，エビの卵，枯草菌(こそう)である。この実験では試料に飛びこんできた放射線の飛跡も同時に計測している。宇宙飛行士は飛行中にかなりの量の放射線を浴びる。このリスクを正しく推定し，将来の放射線防御対策に役立てることが長岡さんのねらいである。

宇宙から帰ってきたトウモロコシ（上）とダイズ（下）の試料。放射線の影響を調べるためのもの。エビの卵，大腸菌，枯草菌も試料として用いられた。

高エネルギー粒子が飛行士の視神経細胞を直撃すると，目を閉じていてもフラッシュをみたように感じることがある。「毛利さんからも数分間に1回の割合でライト・フラッシュをみたという報告があった」と長岡さんは語る。宇宙飛行士は1週間の飛行で1平方センチあたり300〜500個の高エネルギー粒子にさらされるという。宇宙滞在期間が長くなるにつれて，放射線に対する防御対策はきわめて重要な課題になるだろう。

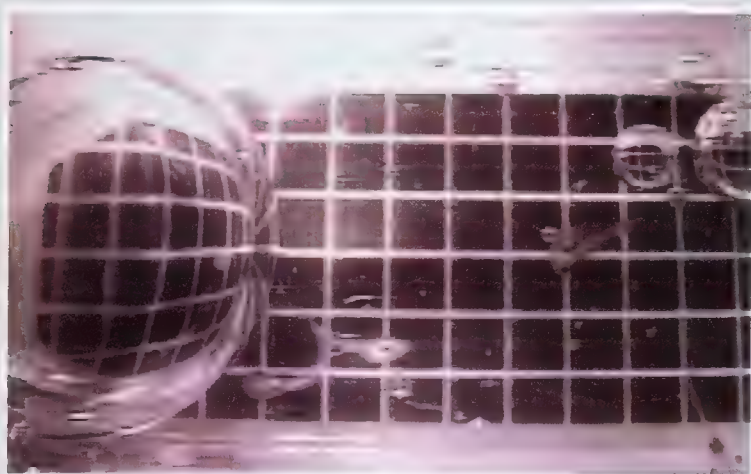
宇宙から帰ってきた卵から産まれたヒヨコ。受精後7日でエンデバーに乗せられ，無重力状態で骨がどのように成長するかを調べるために使われた。

NASAのライフサイエンス実験

エンデバーではNASAの計画した実験も行われた。このうち地上に映像が届いて話題となったのが，宇宙で産まれたオタマジャクシである。この実験は無重力下での動物の初期発生を調べるもので，宇宙で人工授精させた卵を成長させ，一定の時間間隔で試料をつくり，地上に持ち帰って解析する。映像が送られてきたオタマジャクシは地上で受精した卵がかえったものである。宇宙開発事業団の長岡さんは「泳ぎ方が明らかに地上とちがっている」という。コイの宇宙酔いの実験の森さんも，この映像はとても興味深かったという。普通は頭を下に向ける方向に回転するのだが，宇宙で産まれたオタマジャクシはまったく逆で，頭を後方に向ける方向に回転していた。重力を知らないためなのだろうか。

白い円筒形の装置を使い，スペースラブの奥の方で行われていたのが下半身陰圧負荷（LBNP）という実験である。無重力状態では体液が頭部や上半身に移動してしまう。毛利さんの顔がむくんでいたのもそのせいである。これは宇宙空間ではあまり問題にならないが，地球に帰還する際に重力がもどるため，脳へ送られる血液が不足し，めまいや失神がおきる。これを防ぐため，下半身を装置に入れて1気圧以下にし，体液の下方への移動を調節したり，そのようすを調べるのがこの装置である。

このほかラブ内の微小重力環境を乱す加速度の測定，宇宙酔いの予防法，タンパク質結晶成長，骨細胞の成長など全部で九つの実験が行われた。

宇宙で産まれたオタマジャクシ。地上で受精した卵から産まれたものだが，地上とは明らかにことなる動きをしており，生物学者の興味をそそった。

下半身陰圧負荷の実験。無重力環境では体液が上半身に移動してしまい，顔がむくんだりする。帰還時にはめまいや失神の原因ともなるので，このような状態になるのを防ぐ方法を開発する必要がある。白い円筒形の装置に下半身を入れ，気圧を1気圧以下にして，体液の移動を調節する実験を行った。

PART III

新しいチャレンジ

1994年に向井千秋さんがスペースシャトル，コロンビアで宇宙を飛ぶことが決まった。第2次国際微小重力実験室IML-2のミッションである。毛利さんにつづき日本人として3人目，日本人女性としては最初の宇宙飛行となる。向井さんに話を聞いてみた。

「ふわっと'92」の経験を生かして

Newton──IML-2で宇宙を飛ぶことになり，まず実験への抱負をお聞かせください。
向井──ほんとうにすばらしい機会をあたえていただきました。一生懸命やらなければならないと，気が引きしまる思いです。IML-2というのは非常に実験テーマが多く，全部で80テーマです。アメリカ，カナダ，ヨーロッパなどが参加します。飛行期間も13日間と長いので，宇宙医学とか，生物学の面でとても面白いと思います。もともと私の専門分野は医学ですし，この7年間，宇宙開発事業団でライフサイエンスを中心にやってきましたから，非常にやりがいのあるミッションです。
Newton──今回の「ふわっと '92」での経験がいろいろ参考になると思いますが。
向井──いちばんよかったのは，フライトクルーとしての訓練も受け，本番では地上支援をしたことです。プロジェクトの全体像というか，地上の人たちがどういうことに苦労しているかということを身にしみて感じました。そういうことを知って自分が飛べば，かゆいところに手が届くというか，地上で何を考えているか交信をしていてもわかると思います。そういう意味ではすごくいい経験でした。

細胞培養では共同研究も

Newton──今後のスケジュールはどうなりますか。
向井──はじめの1年間ぐらいは研究者との調整の作業がほとんどです。私たちの役割は，まず映画でいうと台本にあたる「手順書」をつくることにあります。研究者の意図を理解して，実験の手順を明らかにしていくのです。そのためには各国の研究者を訪ね，全部の実験内容を把握(はあく)して，必要な手順書をつくっていきます。これからはヨーロッパとかアメリカなど，あちこち動きまわることになります。
Newton──IML-2ではライフサイエンス系，医学系の実験が多いようですが，それについて個人的に興味のある分野はありますか。
向井──私は日本の実験のうちの細胞培養(ばいよう)に関して共同研究をすることにしています。私はもともと外科医で無菌操作などしておりましたから。マウスから直接解剖してとってきた骨細胞を培養するのです。非常に面白い実験だと思っています。

実験全体をみても，今度のプロジェクトは立案から飛行までが短いので，内容は新しいものが多いのです。従来の実験では形態的にどう変化するかをみるものが多かったのですが，IML-2ではもっと細かいレベル，つまり分子レベル，遺伝子レベルで無重力の影響をとらえようとするテーマが多くなっています。そういうテーマはどれも面白いと思います。
Newton──装置についてはいかがですか。
向井──装置についても細胞培養は日本の実験の目玉の一つだと思っています。IML-2は国際見本市ですから，各国がそれぞれきそって装置を出してきます。日本が電気泳動装置を出し，フランスも自国製の電気泳動装置をつくっています。そういう意味では各国の装置に対する開発思想のちがい，使い勝手のちがい，あるいは性能のちがいといったものが出てくることも面白いと思います。
Newton──毛利さんも1日目は宇宙酔いで苦労されていたようですが，医者として無重力

1994年にスペースシャトル，コロンビアで宇宙を飛ぶことになり，これからの夢を語る向井千秋さん。医師であることを生かし，自分の体でさまざまなことを体験したいという。

環境への適応についてどうお考えですか。

向井──宇宙酔いについては，教科書でいろいろ書いてありますから，ほんとうにそうなるのかを自分自身で体験してきたいと思います。医者として体液の移動などをやっていましたから，3日間で自然減退してくるものを1日でできないかといった宇宙酔いの対処法が考えられないかと思っています。

Newton──実験以外で興味があること，あるいは宇宙でやってみたいことはありますか。

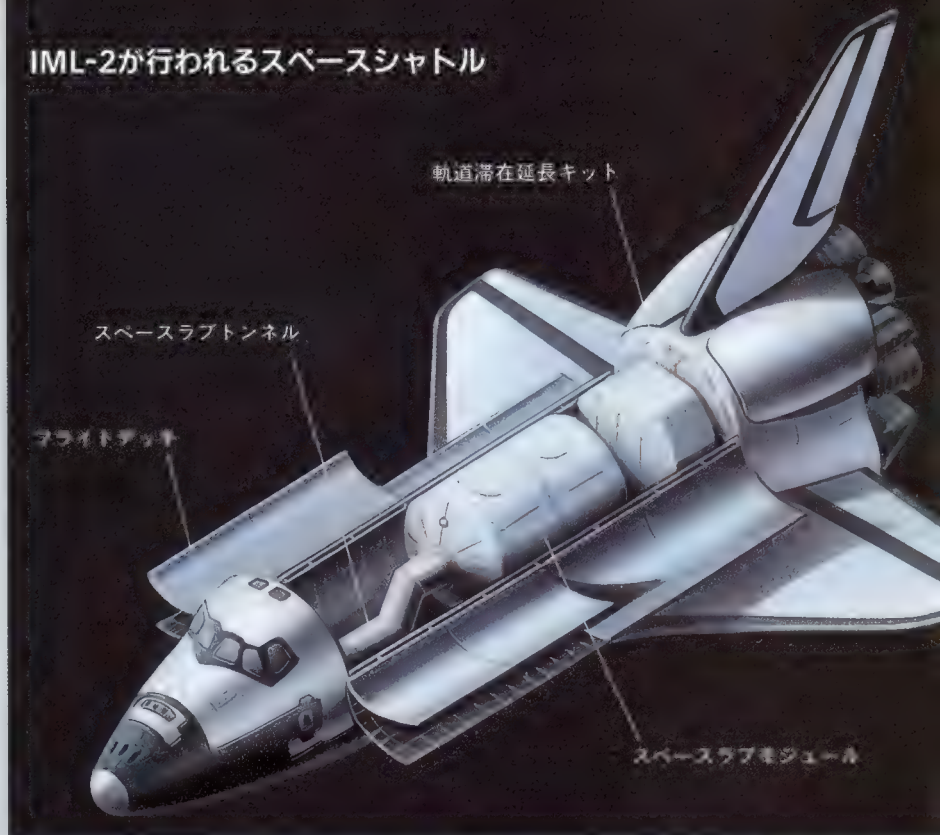
向井──今は80テーマもの実験をやるということで頭がいっぱいです。「なんとかこれで80テーマいける」と思えるようになれば，ゆとりが出てきて，こういうことをしてみようかといったことが出てくるかもしれません。多くはできませんが，自分の体を使ったり，観察力をはたらかせたりして，なんでこうなるのかと思ったことがわかるようなことがあれば，いくらでもやってみたいと思っています。

女性が殻を破るはげみになれば

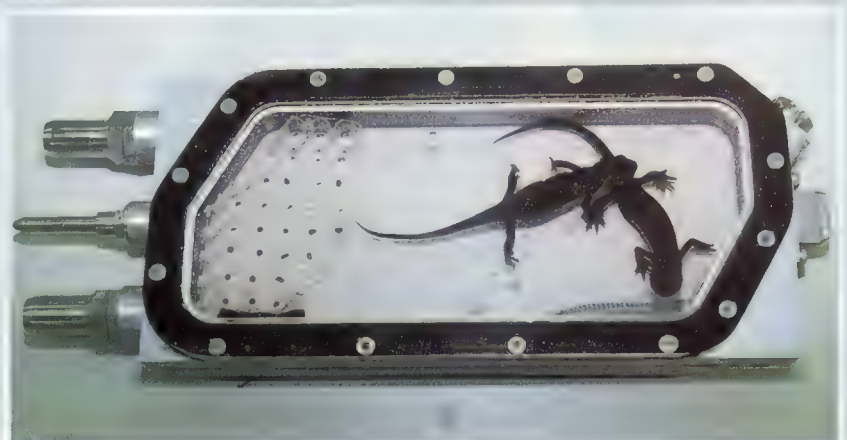
Newton──日本人女性としてはじめて宇宙を飛ぶことについてはいかがですか。

向井──医者をやっていたころから，女性としてということを職業の中で考えたことはありませんでした。私だからこの仕事ができる，私だったらこの仕事はむりかな，といったことは考えましたけれども，女性だからできる，できないということを考えたことはまったくありませんでした。宇宙飛行士に選ばれたときに「女性宇宙飛行士」と新聞にのるようになって，ほかの人はこういうふうにみるんだなと思いました。世の中には，女性ということで自分の殻(から)を破れない人がたくさんいると思います。そういう人たちが女性でもできるじゃないかと考え，自分の可能性をどんどん追求していいんだと思ってくれたらすごくうれしいのです。そういう意味では「女性」とついていることはいいと思います。

Newton──IML-2以降，スペース・ステーションの時代に向けて，これからやらなくてはならないことはなんでしょうか。

向井──毛利さんが今度，有人宇宙活動推進室の長になりました。スペースシャトルをもたない日本がやらなければならないことは，毛利さんを中心として搭乗(とうじょう)機会をどんどん獲得していくことだと思います。しかしこれは1人ではどうにもならないので，こういった人たちがどんどん入っていけるように，日本の宇宙実験や宇宙環境利用のレベルをどんどん上げていかなければいけないと思います。

Newton──日本の宇宙実験技術についてはどのようにお考えですか。

向井──日本の実験技術は詰(つ)めがきちんとしていますし，そういう意味では非常にレベルが

IML-2の実験の一つとして，イモリを使い無重力環境における産卵と，その後の発生状態を観察する。

IML-2はスペースシャトル，コロンビアで行われる。1994年7月に打ち上げが予定されており，実験期間は13日である。「ふわっと'92」にくらべ滞在期間が長く，軌道滞在延長キットも取りつけられている。

IML-1で得られた宇宙放射線の飛跡

高いと思います。こういう大がかりなプロジェクトというのは，それぞれの人がそれぞれの分野でがんばらなければなりません。日本はチームワークがよい。そういうことが反映され，ふわっと '92でも異例の大成功，つまり実験装置が100%稼働(かどう)し，すべての実験が行われるという成果が得られたのです。

Newton——宇宙に行きたいと思っている子供たちも多いと思います。そういうNewtonの読者にメッセージをお願いします。

向井——宇宙だけでなくていいのですが，自分がやりたいなと思ったことを，いつまでも興味を絶やさずにつづけてほしいと思います。

Newton——ありがとうございました。

国際微小重力実験室IML-2

向井さんが宇宙を飛ぶ国際微小重力実験室IML-2ミッションは，1994年7月に打ち上げの予定になっている。使われるオービターはコロンビア，飛行期間は13日間。アメリカ，日本，ESA(ヨーロッパ宇宙機関)，ドイツ，フランス，カナダが参加し，スペースラブで合計80テーマの宇宙実験を行う

1992年 1月， ふわっと '92 に先がけて，宇宙開発事業団はスペースシャトル，ディスカバリーに乗ったIML-1ミッションに参加した。このときの日本の実験テーマは有機超電導体の結晶成長実験，および宇宙放射線のモニタリングと生物にあたえる影響の調査の二つであった。

IML-2では日本は6種類の実験装置を搭載し，12の実験を行う。またアメリカの研究者もそれぞれの装置を使って実験を行うことになっている。向井さんが共同研究者として参加するのは細胞培養キットを用い，細胞が増殖・分化する際の無重力の影響を調べる実験である。この実験では，細胞が重力を感知することを遺伝子レベルで検証しようとしている。このようにふわっと '92にくらべて，IML-2は実験内容のレベルが上がっている。また材料系の実験にくらべてライフサイエンス系の実験が多いのも特徴である。

水生生物飼育装置を使い，軌道上で受精・産卵をさせるメダカとイモリの実験はまったく新しい試みである。メダカは軌道上で交尾させる。イモリについては，秋に交尾し，冬眠の間は精子を雌の体内に保存しておく性質を利用し，地上と軌道上でホルモン剤を注射して受精・産卵させる。イモリの実験を行う宇宙科学研究所助教授の山下雅道さんは，「向井さんの仕事はホルモン剤の注射と卵の一つをビデオで撮影し，変化をみること。どの卵を選ぶかは向井さんの『勘(かん)』しだい。いちばん元気そうな卵を選んでほしい。向井さんにはそういった研究者の期待にこたえようとする熱意があります」と語っている。

国際微小重力実験室IML-2で行われる日本の実験

実験装置	テーマ名称	代表研究者	実験内容
●ライフサイエンス実験			
水生生物飼育装置	微小重力下での魚の前庭順応機構	高林 彰　藤田保健衛生大学	脳の一部，前庭を破壊したキンギョの自由遊泳などから無重力順応への経時変化を把握する。
	メダカの交尾・産卵行動	井尻憲一　東京大学	メダカを用いて交尾，産卵などが無重力環境で受ける影響と受精卵の初期過程を研究する。
	イモリの産卵および受精発生	山下雅道　宇宙科学研究所	地上および軌道上でホルモン処理したイモリの産卵と卵の発生状態の観察，記録を無重力下で行う。
細胞培養キット	細胞の増殖・分化への微小重力影響	粂井康宏　東京医科歯科大学	有人飛行時の問題である骨からのカルシウム脱落機構を骨由来細胞を使い，遺伝子などから解明する。
	宇宙空間における細胞性粘菌の分化	大西武雄　奈良県立医科大学	ライフスパンの短い粘菌を用いてその全期間にわたり，無重力および宇宙放射線の影響を研究する。
放射線モニター装置	船内重粒子線線量計測と生物効果	道家忠義　早稲田大学	宇宙空間で重粒子線が生物におよぼす影響を解明，宇宙飛行士の被ばく予防技術を開発する。
●材料実験			
高温加圧型電気炉	TiAl系金属間化合物の組織制御	竹山雅夫　金属材料技術研究所	チタン・アルミ合金とチタン・ホウ素微粒子との均一な複合材料をつくり，さらに高度強材料を作製。
高温加圧型電気炉	化合物半導体融液の均一分散・混合	平田 彰　早稲田大学	密度がことなる三元系半導体材料を対象にマランゴニ対流を活用し，材料製造技術開発をめざす。
電気泳動装置	電気泳動による染色体の分離	小林英三郎　城西大学	染色体と生体機能の関係を明らかにするため，線虫の染色体を用いて単離実験を行う。
	高密度細胞培養液からの分離精製	奥沢 務　日立製作所	高密度動物細胞培養液から，電気泳動法によって生理活性物質を効率的かつ高純度で分離精製する。
制振実験装置	対流と拡散に対するgジッタ影響	東 久雄　航空宇宙技術研究所	制振材料を用いて，機械や人間の移動，振動などの影響による残留重力を排除し，熱対流実験を行う。
	熱駆動流	古川正夫　宇宙開発事業団	毛細管流を利用して，微小重力下での液体の凝集と流れを制御し，流体ハンドリング技術を開発する。

本格的な有人宇宙活動時代へ

IML-2以後の日本の宇宙実験計画はどうなっていくのだろうか。スペースラブを使った宇宙実験ミッションは，IML-2以外にもいくつか計画されている。これらのミッションに日本が参加する可能性もあるし，もしかすれば日本人宇宙飛行士が搭乗するチャンスもあるかもしれない。できるだけ日本人の搭乗機会をふやしていきたいというのが，宇宙開発事業団の考えである。

日本が参加するスペース・ステーション，フリーダムは，1995年に軌道上での組み立てがはじまることになっている。1996年にはNASAの実験モジュールが取りつけられる予定で，年に3〜4回フリーダムに滞在して実験を行うことができるようになる。日本の実験モジュールJEMは1998年に取りつけられ，運用を開始する予定になっている。2000年までにはフリーダムに常時4人が滞在して実験を行うことができるようになるはずである。

宇宙開発事業団ではJEMに搭載する実験装置の製作を進めている。1992年10月にはJEMで行う実験テーマの第1回募集をはじめた。今後毎年，募集を行っていく予定である。

1992年4月には若田光一さんが宇宙飛行士候補者に選ばれた。宇宙開発事業団では今後1年おきくらいの間隔で，宇宙飛行士候補者を選抜していく予定でいる。毛利さんを長とする有人宇宙活動推進室も発足(ほっそく)しており，日本でも本格的な有人宇宙活動の時代がはじまろうとしている。

ふわっと '92の体験も含め，土井隆雄さんにこれからの有人宇宙活動を語ってもらった。

「ふわっと'92」を土台に

Newton──IML-2は日本人宇宙飛行士が乗りこむ第二の有人宇宙実験ということになります。さらにその後，日本としてどのようにして取り組んでいかなければならないかということを，お聞かせください。

土井──IML-2は提案自体も新しいですし，装置もいま開発しているということで，非常にいい実験計画だと思っています。ただ問題なのは，IML-2は基本的には，ふわっと '92（FMPT）とは独立した実験だということです。FMPTの実験が終わって，これからその結果が出てくるわけです。今回の実験からいろいろなことを学んだわけですね。それを生かすべきだと思います。そのためには，理想としては第2次FMPTというものが計画されるべきだと思います。今までこれだけFMPTでがんばってきても，そのあとがスペース・ステーションということになると，結局7年とか8年とかの間何もなくなってしまいます。そういった意味で次の宇宙実験の計画がほしいのです。今回の実験結果を生かして計画をつくり，その結果を土台としてステーションを動かしていくというのが理想的な話です。

Newton──マーシャル宇宙飛行センターで実際にオペレーションをされて，よかった点やこれから検討しなければいけない点などがありましたらお聞かせください。

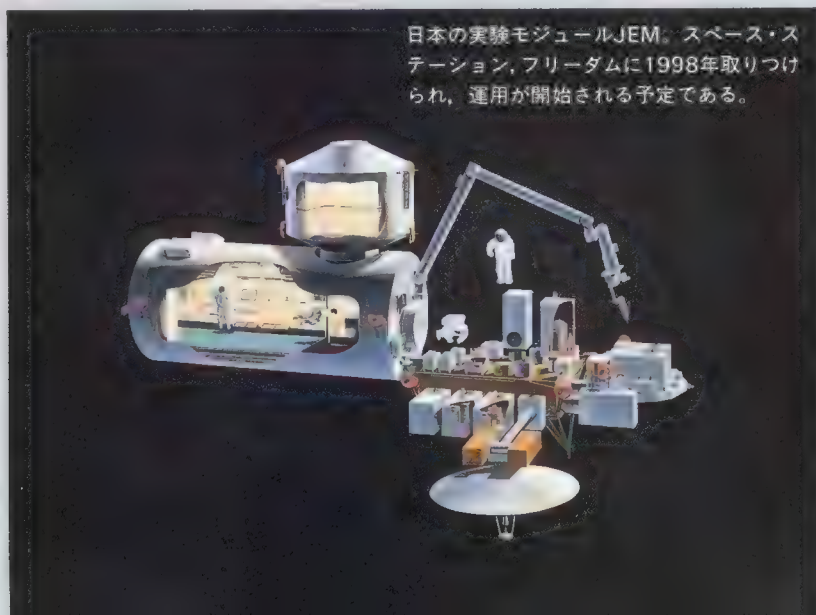
土井──全体的には非常にスムーズにいきました。NASAと日本側のチームとのチームワークもおどろくほどよく，コミュニケーションの問題などもおこりませんでした。ただ，もっと改良したほうがいいという点もたくさんあります。一つは，日本のFMPTの実験装置が非常に自動化されていたことです。クルーの時間をうまく利用するためにはよかったのですが，実験によっては宇宙に行ったクルーが判断して，微調整できるマニュアル機構をもつべきだったと思います。宇宙でもう少し自由にできるようになっていれば，もっといい実験ができたと思います。

Newton──今後の宇宙実験の話ですが，いま若田さんがNASAで訓練をされています。これからまた新しい宇宙飛行士の募集もあるかと思いますし，スペース・ステーションの実験の募集もはじまりましたね。

土井──日本が今後どういうように宇宙開発を行っていくかといった長期ビジョンにもよると思います。スペース・ステーションというのは，これから月とか火星探査とか有人宇宙開発の土台となるものです。ずいぶんお金が

ふわっと'92では，地上で毛利さん

宇宙開発事業団の宇宙飛行士2期生に選ばれた若田光一さん。現在はNASAで訓練を受けている。

をバックアップした土井隆雄さん。

日本の実験モジュールJEM。スペース・ステーション，フリーダムに1998年取りつけられ，運用が開始される予定である。

かかりますが，まずはスペース・ステーションの活動をその価値に値するように，日本でも準備していく必要があると思います。

スペース・ステーションに向けて

Newton——スペース・ステーションの時代になると，1週間とか2週間ではなく，かなり長期の滞在になりますね。

土井——どのようにオペレーションやサポートをしていくかといったことは，とても重要な問題です。今回1週間やってみて思うのは，非常にたいへんだったということです。1週間のミッションのために数百人が2年も働いているんです。それを今度30年間つづけるとすると，オペレーションの方法とか，実験のやり方とか，訓練のやり方を根本的に考え直さなければならないと思います。クルーにしても上で訓練しながら実験をするという形をとらなければいけないんですね。そういう意味でクルーの資質が非常に重要になると思います。サポートも重要です。

Newton——月や火星に人間が行くことについて，土井さんはどのようにお考えですか。

土井——人間は宇宙に出て行くべきだと思います。地球は物理的にいって，人口や資源を考えるとほんとうにせまくなりすぎています。人類の活性を保つという意味においても，宇宙へという新しいチャレンジをしなければならないと思います。そういう意味で今の世代は重要なところにいます。人口問題や資源問題などで世界中が危機におちいってしまってからでは，宇宙開発なんてやっている余裕はなくなると思います。余裕があるうちに新しい道をつくっておくべきだと思います。

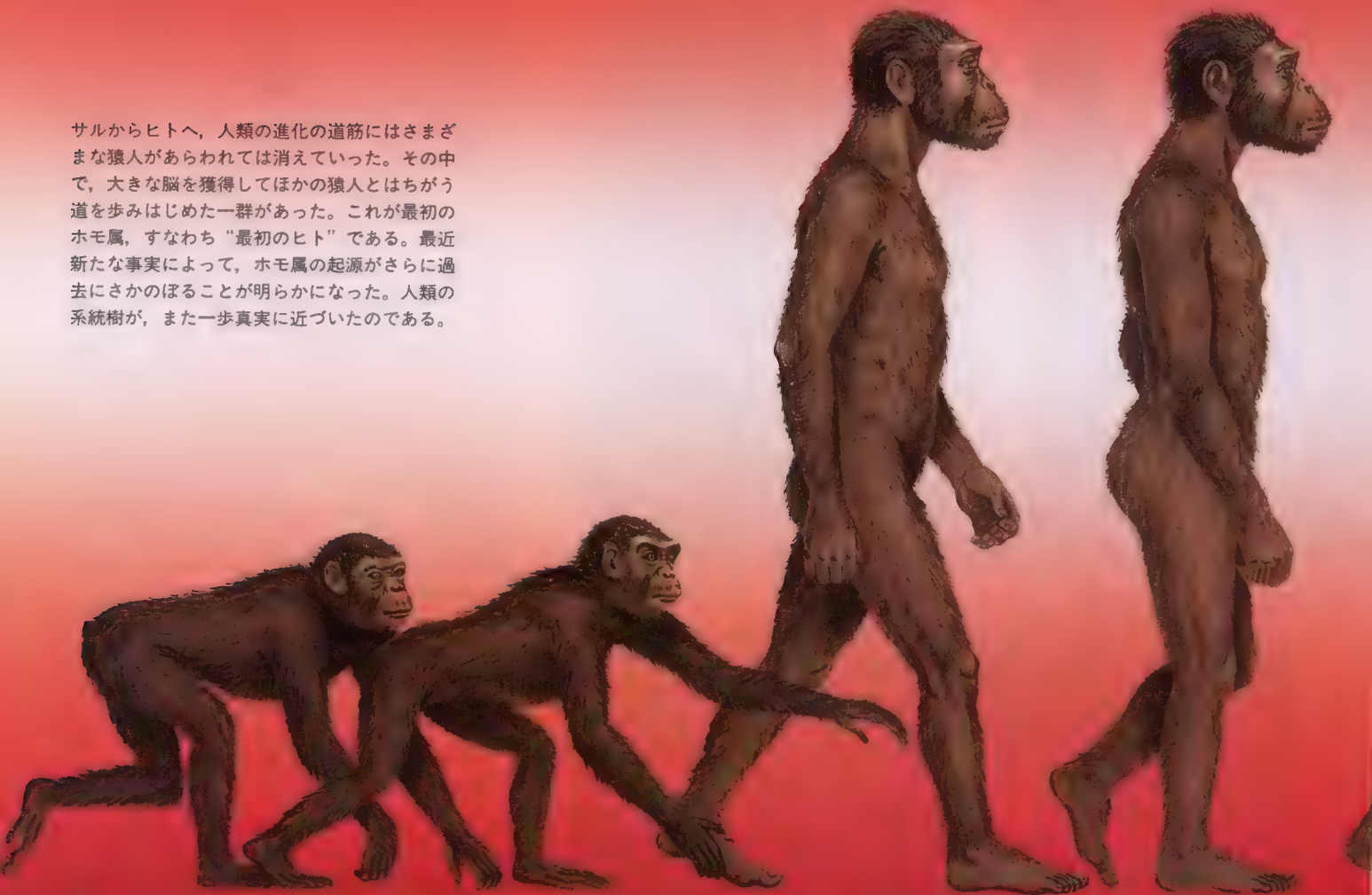
Newton——将来，宇宙に行きたいという読者にアドバイスをお願いします。

土井——宇宙に興味をもちつづけているかぎり，宇宙へ行けるチャンスは必ずきます。それから宇宙で何かをするのなら，まだだれもやっていないことをやろう，新しいことを宇宙でやってやろうということをつねに考えてほしいと思います。

Newton——ありがとうございました。

最初のヒト

われわれ人類はいつ，どこからきたのか。長年にわたる化石の調査研究が人類の起源を解き明かしつつある。しかし今なお多くのなぞが残されている。その一つ，猿人からホモ・サピエンスへの流れの中で，“最初のヒト”はどのようにして生まれたのかという問いにせまる新たな事実が明らかになった。

サルからヒトへ，人類の進化の道筋にはさまざまな猿人があらわれては消えていった。その中で，大きな脳を獲得してほかの猿人とはちがう道を歩みはじめた一群があった。これが最初のホモ属，すなわち“最初のヒト”である。最近新たな事実によって，ホモ属の起源がさらに過去にさかのぼることが明らかになった。人類の系統樹が，また一歩真実に近づいたのである。

プロコンスル
（1800万年前）
人類と類人猿（チンパンジー，ゴリラなど）の共通の祖先であり，最古の類人猿である。森林の中で暮らし，樹上生活に適応した短い四肢をもっていた。まだ二足歩行ではなく脳も小さかった。

ケニアピテクス
（1400万年前）
ケニアピテクスを含むラマピテクス類が最古の人類とされていたが，類似のシバピテクスがオランウータンに近いことなどから，現在は人類とアフリカの類人猿の共通の祖先であると考えられている。

アファール猿人
（400万〜300万年前）
人類の系統が類人猿と分かれたあと最初に登場し，すべての猿人の祖先となる。直立二足歩行をしているが，脳の大きさはまだチンパンジーと同じくらいである。

アフリカヌス猿人
（250万年前）
アファール猿人から生まれた猿人で，あごや歯がアファール猿人よりがんじょうである。このアフリカヌス猿人かアファール猿人のどちらかから最初のホモ属が誕生した。

を求めて

人類進化の空白を解くかぎを手に入れた

諏訪 元 東京大学理学部講師

最初のホモ属
（240万～160万年前）
体つきはアファール猿人やアフリカヌス猿人と大差ないが，脳は大きく約1.5倍である。最初のホモ属は200万年前のホモ・ハビリスとされていたが，最近240万年前にさかのぼることがわかった。

ホモ・エレクトス（原人）
（160万～20万年前）
脳容量が約900ccとさらに大きくなり，体格や歯などもヒトに近づいてきた。最古の火の使用者といわれており，熱帯以外でも生きられるため世界中に広がっていった。

現代型ホモ・サピエンス（新人）
（10万年前～）
アフリカから世界へ拡散した。ヨーロッパへは約3万年前に進出しクロマニヨン人とよばれた。体つきや脳容量は現代人とほぼ同じで分類学上も同じ仲間である。複雑な道具や衣服をもち言葉も話した。

現代人
脳の容量は約1450ccで，とくに大脳皮質が発達している。汗腺の発達により体毛が少ない。歯やあごなどのそしゃく器が縮小し，その傾向は今もつづいている。

われわれ自身のルーツ，人類の起源の探究は，生物進化学としての科学的関心だけでなく，より多くの好奇心とロマンをかきたてる。いつ，どうしてヒトは出現したのであろうか。こうした問いに答えるために，長年の研究と数々の発見が積み重ねられてきた。

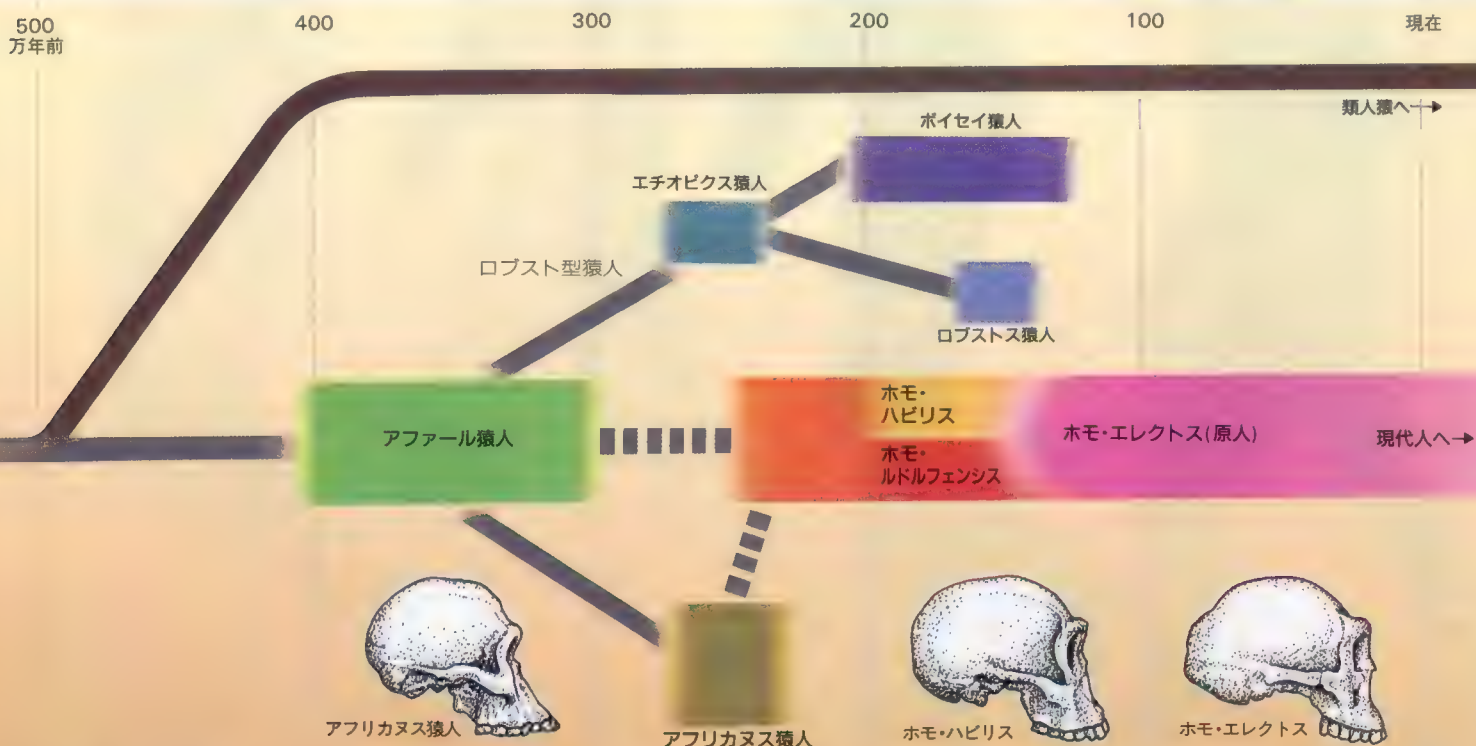
人類の起源を語る発見の歴史

人類の初期の祖先について科学的研究がはじまったのは，1924年，南アフリカのタウングで猿人（アウストラロピテクス）の子供の頭蓋骨（ずがいこつ）が発見されたときだった。当初は変わり種の類人猿とされ，人類の祖先とは認められなかった。しかしこのタウングの発見が刺激となり，1936年から1950年ごろまでに，南アフリカの石灰岩地帯で頭骨（とうこつ）をはじめ多くの化石が発見された。これらの化石によって，猿人が直立二足歩行をし，まぎれもなく人類の祖先であることが証明された。

つづいて1960年ごろから，東アフリカの大地溝帯（ちこう）で大規模な調査が次々と開始された。地溝帯では地殻変動がはげしく火山活動が多いため，火山灰や溶岩流がいくつもの地層になって残っている。出土する化石の上下にこうした地層があれば，年代を測定するための大きな手がかりとなる。こうして東アフリカでは，猿人化石が発見されるとともに人類進化の正確な時間軸ができあがっていった。そしてタンザニア，ケニア，エチオピアの3か国で1960年代から80年代にわたって大発見があいつぎ，400万年前までさかのぼる人類進化の概略が明らかとなった。

人類の系統樹が解明されはじめた。

人類が類人猿と分かれて独自の道を歩みはじめたのは，700万～500万年前ごろとされている。人類の系統で最古の猿人は，400万～300万年前の東アフリカにいたアファール猿人である。それ以後は何種類もの猿人が出現する。280万年前ごろには猿人は南アフリカまで拡大し，アファール猿人と近縁のアフリカヌス猿人が登場する。このアファール猿人またはアフリカヌス猿人から，やがてわれわれの祖先であるホモ属が誕生する。

一方で，現代人の3倍もある臼歯（きゅうし）と極端にがんじょうなあご，強大なそしゃく筋をもつロブスト（がんじょう）型猿人が出現する。東アフリカでは，まず270万年前にロブスト型猿人の第1号であるエチオピクス猿人が出現する。そして220万年前ごろには，さらに特殊化したボイセイ猿人へと進化する。しかしこれらのロブスト型猿人は，

人類の系統樹

人類の進化にはまだなぞが多い。現在最も有力な系統樹は次のようになる。人類が類人猿と分かれたあと，最初にアファール猿人が登場する。アファール猿人からアフリカヌス猿人が生まれ，このどちらかから最初のホモ属が誕生する。ホモ属の起源は200万年前とされていたが，最近240万年前であることが確認された。200万年前以降のホモ属は，ホモ・ハビリスとホモ・ルドルフェンシスの2種類に分けられるとする説が有力になりつつある。240万～200万年前のホモ属がそのどちらであるかはわからない。初期のホモ属の中からホモ・エレクトスがあらわれ，さらに現代人へ進化していく。一方，アファール猿人から生まれたロブスト型猿人は，ホモ属の系統につづくことなく絶滅する。

ホモ属の系統に結びつくことなく100万年前ごろにすべて絶滅してしまう。

猿人の特徴は何か？

猿人はすでに現代人のように2本足で歩き，主に地上で暮らしていた。サバンナの大自然の中で生き，広大な草原と樹木の生い茂る湖岸や河川流域の両方を生活の場としていた。彼らはサバンナを遊動し，主に果実や堅果，種子，地下茎などの植物を食べていたらしい。

猿人には何種類もある。体の大きさはどの種も同じくらいで，雌は約30キロ，雄は約50キロと性別によってかなり差があった。複数の雄と雌からなる“群れ”を構成し，現在のサルの群れよりもたがいの協力関係があったらしい。体の大きい雄たちは協力し合い，外敵から群れを守ったことだろう。

猿人の脳はチンパンジーなどと同じくらいの大きさだったので，道具の使用も簡単なものに限られていただろう。石をたたき割って刃物として使うようになるのは，まだ先のことである。

この猿人たちが土台となって，よりヒト的なホモ属が生まれていく。ホモ属はわれわれの直系の祖先であると同時に，分類学上は現代人と同じ仲間である。すなわちホモ属の出現こそが，現代人の幕あけであるといえる。ホモ属はヒトの特徴を少しずつ獲得しながら，猿人とはまったく別の道を歩んでいった。

ヒトと猿人を分けるもの

では，何をもってヒトとするか。今のところ，2段階の境界線が考えられている。一つ目はやはり直立二足歩行である。直立二足歩行の進化は脳の大型化などと同時に進んだわけではない。それでも人類進化において大きな事件といえる。しかしホモ属以外の猿人も直立二足歩行をするため，この条件を満たしただけではホモ属とは認められない。

二つ目の境界線は脳の大型化にある。猿人レベルより明らかに脳が増大した種があればホモ属としている。このような境界線をこえて最初のホモ属が登場するが，まだこの段階では猿人的特徴を多く残したままである。これ以後，ほかのヒト的特徴をそなえて現代人へと近づいていく。

脳が増大したホモ属の登場とほぼ同時に，打製石器の使用がはじまる。石をたたき割ってチョッパーのような打製石器をつくり，物を砕いたりたたき切ったりするのに使用していた。しかしそれより重要なのは，石をたたいてはがしたはく片の石器である。その鋭い刃を使えば，動物の厚い皮を切り裂くことができる。はく片の存在は，初期人類が食べ物を得るための新たな手段を手に入れたことを示している。季節的あるいは常習的な肉食がはじまったのかもしれない。こうしたはく片の使用は，生活パターンの一つの転機になったと考えられる。

ヒトの特徴は何か？

猿人とヒト（ホモ属）を分ける特徴はいくつかある。それらは同時に進化したわけではない。たとえばホモ・ハビリスでは脳の大型化は明らかに進んでいるが，体型や歯の大きさはアファール猿人とほとんど同じままである。ヒトの特徴がすべて出現しはじめるのは，ホモ・エレクトス以後である。

●脳の大型化
アファール猿人では約400ccで，ホモ・ハビリスでは主に600～700ccになる。ボイセイ猿人など同時代のほかの猿人よりもはるかに大きい。

●肉食の開始
打製石器で動物の皮を切り裂くことができるため，肉食が可能となった。動物の骨に残る傷跡などから，少なくとも200万年前から肉食がはじまったことがわかっている。

●石器の使用
ホモ属の出現と同時に打製石器の使用がはじまった。石をたたいてはがしたはく片で，皮や肉を切り裂いていた。しかし，ホモ属と同時代の猿人も石器を使用していた可能性は否定できない。

ホモ・ハビリスの復元図

ホモ・エレクトス以後にあらわれるもの

●そしゃく器の縮小
火と石器の使用によって，食べ物をやわらかくして食べられるようになった。そのためそしゃく器への負担が減り，歯やあご，そしゃく筋が縮小していった。

●成長パターンの変化
脳の増大にともなって頭が大きくなるため，子供は早熟の状態で産まれる。成長速度も遅いため，大人になるまでの期間が長い。

●体型の変化
体が大きくなり，とくに下肢が長くなる。アファール猿人の雄は140～150センチだが，ホモ・エレクトスでは180センチぐらいになる。また雄と雌の体格の差が減っていく。

人類進化のスーパースターたち

猿人やホモ属の進化の流れは，化石の発見が積み重ねられるにつれて少しずつ解明されてきた。人類の化石は頭蓋骨の化石などの情報量が多いものから，歯やあごのかけらなどの断片的なものまでさまざまである。そして進化の解明は両方の組み合わせで行われる。

たとえば二足歩行のような生物学的特徴や，身長や体型などの形態的な特徴を見直すには，おどろくほど保存がよい貴重な発見によるところが多い。一方，ある地域から出土する化石群が性差の大きい1種類なのか，あるいは大小二つ以上の近縁種がまじったものなのかなどを判定するには，多数出土し数量的に検討することが可能な歯の化石が大きくものをいう。過去に発見された化石のあるものは人類の系統樹を大きく書きかえ，またあるものは従来の説をゆるぎないものにした。初期人類の研究を大きく前進させたスーパースターたちを紹介しよう。

アファール猿人の化石で最も有名なものは，エチオピアのハダールで発見された大人の雌の化石である。全身骨格の40％もそろっており，「ルーシー」という名前もつけられている。ルーシーは体重28キロ，身長110センチ弱と推定され，すでに地上性直立二足歩行への適応をとげていた。

ルーシーが出土した場所の近くで，幼児や子供を含む13人分ものアファール猿人の化石が出土した。アファール猿人の一群が何らかの“事故”で集団死したのだろうか。この発見によって，頭蓋骨にはチンパンジーのような原始的な特徴があるにもかかわらず，二足歩行への適応は足の骨などの細部まで進んでいたことがわかった。

アファール猿人にはもう一つ奇跡(きせき)的な発見があった。タンザニアのラエトリにある火山灰の地層に，350万年前の猿人の足跡がくっきり残されていたのである。これによって，アファール猿人の二足歩行がさらに確実となった。

アファール猿人の記録は300万年前ごろにとだえる。その後の猿人進化を語るのは，オモ川下流域の化石群である。南エチオピアを流れるオモ川の下流域は，人類進化を長期にわたって連続的に観察できるまれな場所である。化石のほとんどは断片的な歯の標本である。しかしエチオピクス猿人とボイセイ猿人の出現時期を示すなど，人類進化の時間の流れを知るための重要な尺度となっている。

エチオピクス猿人には，「ブラック・スカル」という名前の黒い頭骨の化石がある。これは250万年前ごろのもので，1985年に発見された。そして当時有力であった系統仮説を否定し，人類進化の図式を大きく書きかえた。

ホモ・ハビリスで最も有名なのは，標本番号「1470」という頭骨の化石である。脳容量が猿人の1.5倍の約750ccもあり，当時実在が疑われていたホモ・ハビリスの決定的証拠となった。

最後にもう一つ奇跡的な発見を紹介する。1984年に，160万年前のホモ・エレクトスの全身骨格がほぼ完全な形で出土したのである。現代人の12歳に相当する少年で，成人すれば身長は180センチほどに達すると推定されている。ホモ・エレクトスがおどろくほど現代人的なプロポーションをもっていたことがわかった。

そして最近，新たなスーパースターが仲間入りをした。ケニアのバリンゴ地区で発見された最初のホモ属，つまり“最初のヒト”の化石である。この化石は明らかに脳が大型化していることを示していたため，ホモ属として認められていた。1992年に化石の年代測定が確定し，240万年前のものであることがわかった。これによって，従来約200万年前とされていたホモ属の起源が240万年前までさかのぼることが明らかになったのである。

ホモ・ハビリスの群れが動物の死体をみつけた。石のはく片で皮をはぎ，肉を切り取るものもいれば，骨を砕いて骨髄(こつずい)を食べようとしているものもいる。ホモ・ハビリスはサバンナや川の流域などを移動しながら生活していたと考えられている。

人類の起源に残る多くのなぞ

最も原始的な猿人であるアファール

猿人は，ハダールとラエトリの化石によってその全貌がおおよそ明らかにされた。また160万年前に出現し100万年前ごろまでにアジアとヨーロッパに拡散したホモ・エレクトスは，猿人とくらべるとかなりわれわれに近い祖先であったこともわかった。しかし，まだ大きななぞがいくつも残されている。そのうちの一つは，アファール猿人が消える300万年前からホモ属が出現する240万年前までの過程である。

“最初のヒト”はだれから生まれた？

300万年前以降は地球全体が寒冷化した時期であり，アフリカのサバンナでは乾燥化が進んだと考えられている。食物のバラエティが激減し，猿人たちは何らかの対応をしいられた。そうした中で，より特殊な食性への適応をとげたボイセイ猿人などが生まれた。彼らが自分自身を適応させたのに対し，石器を使用することで生き残ったのがわれわれの祖先，ホモ属であった。しかしホモ属がどのようにして登場したのか，その過程については今のところ結論が出ていない。

ホモ属の起源はアファール猿人またはアフリカヌス猿人のどちらかだと考えられている。しかしホモ属が生まれた300万～200万年前ごろの東アフリカの化石が不十分なため，その詳細は今もまだはっきりしない。今後より完全な化石が発見されてはじめて，ホモ属の起源とアファール猿人やアフリカヌス猿人との関係などが明らかにされるだろう。

“最初のヒト”は2種類いた？

もう一つの大きな焦点は，240万年前の化石に代表される最初のホモ属と，ヒトの特徴を多くそなえたホモ・エレクトスの間でどのような進化がおきたのかということである。この初期のころのホモ属の進化にも不明な点が多い。

従来，ホモ・エレクトスが出現するまでの200万～170万年前ごろの初期ホモ属は，すべてホモ・ハビリスとよばれていた。ホモ・ハビリスの資料が最も充実しているタンザニアのオルドヴァイ渓谷とケニアの東トゥルカナの化石群の研究成果がまとめられ，最近発表された。そして，初期ホモ属をすべてホモ・ハビリスとすることに反対する意見が強く出された。

この仮説によると，ホモ属はホモ・ハビリスとホモ・ルドルフェンシスの2種類に分けられる。ホモ・ハビリスは顔も歯もきゃしゃで進歩的だが，脳はルドルフェンシスより小さく，下肢は猿人のように短く原始的である。一方，ルドルフェンシスは脳も大きく，腰や太ももの骨もホモ・エレクトスに近く進歩的である。ところが，ロブスト型猿人のように歯が大きく，あごもがんじょうという特徴もある。はたしてルドルフェンシスとホモ・ハビリスのどちらがホモ・エレクトスになったのか，ホモ・エレクトス以前のホモ属を従来どおりホモ・ハビリス1種類としていいのか，専門家の意見の一致は当分みられそうにない。

このようにホモ属の起源や進化には，まだ多くのなぞが残されている。それを解き明かす新たなスーパースターたちの登場が切望されている。

ホモ属の起源を240万年前までさかのぼらせたケニアの化石。右耳の周辺部のもので，表側中央の黒い穴が耳の穴にあたる。裏側には脳の表面にあった血管の跡がみえる。脳を保護する部分とあごの関節の位置をくらべると，脳の大きさを推測できる。その結果この化石は脳がかなり大きく，ホモ属と認められることがわかった。

アフリカの東部と南部で現在も人類化石の調査が行われている。写真はタンザニアのオルドヴァイ渓谷で調査中の人類学者たち(中央が筆者)と，発見されたホモ・ハビリスの化石。

特別インタビュー

生物学がかわっていく

中村桂子　早稲田大学人間科学部教授に聞く

DNAの二重らせん構造が解明されてから40年，
生命科学は飛躍的な進歩をとげ
今や新しい展開をむかえつつある。分析を
もとにしながら歴史をみる「生命誌」という視点に立つことで
生物学はふたたび日常性を取りもどす。大阪に
建設中の生命誌研究館の設立にたずさわる中村桂子教授に
これからの生物学のあり方を語ってもらった。

Newton――生命の設計図であるDNA（デオキシリボ核酸）や遺伝子の話題にはいつも多くの人が興味をもっています。そこに生命の秘密がかくされているからでしょう。ワトソンとクリックが二重らせん構造を解明して以来，DNAの構造解明と暗号解読が急速に進みました。今では研究も新しい段階に入りつつあるように思います。先生はDNAの存在をどのように考えていらっしゃいますか。

中村――やはりDNAはすごいなというのが実感です。私は大学時代に二重らせん構造をみて魅力（みりょく）を感じ，研究に入りました。そしてDNAの研究がどんどん進む中で暮らしてきました。DNAは何かが解明されると，それで終わってしまうのではなく，ますます新しい見方が出てきます。そういう意味で面白いと感じるのです。しかしDNAのどこに面白さを感じるかというのは，私の中でもかわってきました。

中村桂子。早稲田大学人間科学部教授。三菱化成生命科学研究所名誉研究員。理学博士。1936年，東京都生まれ。東京大学理学部化学科卒業，同大学院生物化学修了後，国立予防衛生研究所，三菱化成生命科学研究所を経て現職に。『生命誌の扉をひらく』『生命のストラテジー』（共著）などの著書のほか，『二重らせん』『細胞の分子生物学』（共訳）などの訳書も多く，科学を一般の人々へ開くことに努めてきている。生命誌研究館設立準備中。

DNAのまちがいが伝わることで生物の多様性が生まれた。

Newton――どのようにかわってきたのですか。

中村――最初に興味を感じたのは，同じ情報があらゆる生き物の中に共通に入っている点，そして，子孫にまちがいなく遺伝情報を伝えていく複製がとてもみごとに行われているという点でした。DNAの構造は，まちがえようがない原理で複製できるのです。でも今はあの構造のすごさは，少しちがうように思っています。あの構造はやっぱりまちがえたり，ちがうものが入ってきたりする。それを捨てないで，まちがえたらまちがえたなりにそれを伝えている。生物はみな共通でありながら，こんなに多様であるのはそれゆえです。この組み合わせが面白いと思います。

Newton――DNAは自分とまったく同じコピーをつくって子孫に遺伝情報を伝えていくわけですね。このとき，わずかな確率でまちがいがおきる。このことも重要だということですね。

中村――複製を正しく行うだけでは共通性しか出てこない。

しかしときどきかわる。そしてかわったものをそのまま伝えるということをちゃんと行ったことで，基本はかわらないが多様という生物世界ができた。そこが面白いと思いはじめています。

Newton――すると生き物のとらえ方もかわってきますね。

中村――生き物への関心はあるときは共通性に，またあるときは多様性にウエートが置かれることはあっても，これがどうからんでいるかということが，昔からの興味だったと思うのです。たとえばアリストテレスは，生命とは何かという生物の共通性を追究しながら，一方でたくさんの生物の観察をして分類しています。「自然の階段」という生き物の関係をつくりあげている。今からみるとおかしな部分もありますが，自然界を生き物の共通性と多様性の両方で見通していたすごい人だと思います。

ヒトの遺伝子がほんとうにヒトの遺伝子なのかという疑問

Newton――そのような観点からみますと，19 世紀から 20 世紀にかけての生物学というのは，生き物の共通性を追究した学問でしたね。

中村――細胞からはじまって DNA という全生物に共通なものをみつけ，大成功したわけです。しかしそこをどんどん突きつめていくと，「同じだけれど，なぜこんなにいろいろあるんだろう」という問いが当然出てきます。

Newton――それはどういうことでしょうか？

中村――DNA の中には遺伝子として機能していない，何かわからない部分というのが非常にたくさんある。ヒトの場合，DNA 全体の 95 %がそのような部分だともいわれてい

真核生物では，DNAはタンパク質と結合した染色糸の形で細胞の核の中に入っている。細胞分裂時にはそれが複雑に折りたたまれて「染色体」となる。生物のもつDNAの1セットを「ゲノム」とよぶ。DNAのうち生命活動に必要な部分は「遺伝子」とよばれ，DNA上にとびとびに存在している。また一つの遺伝子も意味のある部分（エクソン）が意味のない部分（イントロン）によって分断されている。ヒトの全DNA（ゲノム）のうち意味をもって機能しているのはほんの5%ほどで，残りの95%は，なんのためにあるのか不明な部分である。

ます。遺伝子を解読してわかった部分だけでDNAが語れるかというと，そうではありません。

もう一つ，遺伝子でみていたのでは答えが出ないことがあります。たとえば糖のリン酸化酵素(こうそ)をつくる遺伝子があります。糖のリン酸化は生体内でのエネルギー生産に不可欠なものですから，あらゆる生き物になくてはならない遺伝子です。それをみていくと，ヒトでも大腸菌でも植物でも，ほとんど同じ。すると，この遺伝子はたまたま私の体の中にあるが，ほんとうにヒトの遺伝子といえるのだろうかという感じがするのです。「糖のリン酸化にはたらく遺伝子」ではあるが，ヒトの遺伝子でも大腸菌の遺伝子でもないのではないか。

Newton——するとヒトとはなんなのかという問いが出てきますね。

中村——これからはゲノムという単位で考えていくのがよいのではないかと思います。

ゲノムが生物の共通性と多様性を結びつけるかぎ

Newton——ゲノムというのは，遺伝子として機能している以外の，先ほどのお話の95％の部分も含めたDNA総体をさす言葉ですね。

中村——そうです。DNAには遺伝子として機能している部分もそうでない部分もある。そういうものがいっぱい集まってあるセットになったときに，それは明らかにヒトであり，ネズミであるということです。

ゲノムはDNAでしかできていませんが，ヒトのゲノムはヒト，ネズミのゲノムはネズミ，チョウのゲノムはチョウをつくります。さらには私のゲノムとあなたのゲノムは明らかにちがう。おそらくゲノムが共通性と多様性を結びつけるかぎではないかと思うのです。

Newton——とするとゲノムのちがいが，生物にとって重要な意味をもってきますね。

中村——このちがいがどうやって出てきたかというと，明らかに歴史の産物です。DNAを分析していくとき，「この構造がどのようにしてできてきたのか」という見方が必要だと思います。生命を知ることはヒストリーを知ることだというふうに見方をかえるほうが，新しいものがみえてくるのではないか，ということで最近，生命誌，バイオヒストリーということをいいはじめたのです。

そう思ってみると，実は生物学は長い間ナチュラル・ヒストリーという形で行われてきたのです。ファーブルの『昆虫記』が書かれた時代はナチュラル・ヒストリーだった。

生物学がふたたび日常性と結びつく時代になってきた。生命誌研究館には多くの標本が寄せられつつある。

今はバイオサイエンスとナチュラル・ヒストリーがドッキングできる時代になっているわけですから，バイオヒストリーという，分析をもとにしながら歴史をみる新しい分野があってもいいのではないかと考えるようになりました。

すべての生物種が35億年の歴史を背負っている。

Newton——それが生き物の共通性と多様性を両方みるということになるわけですね。ところで現在，ヒトの全ゲノムを解析しようという計画がはじまっています。ヒト・ゲノムが解析されれば，生物学に画期的な情報がもたらされると期待されています。このプロジェクトについて先生はどう期待されますか？

中村——とても面白いと思います。病気の遺伝子がわかるといった実用性もありますが，解析をしている人は全体像がみえてくることで，生物とはなんだろうという問いに少

しでも近づけることに関心があると思います。人間が非常に長い時間を背負った歴史的な存在だということがわかることで，人間をトータルにみる見方が出てくると思いますし，そういうものの見方が生物全体についても出てくると思います。

Newton——ゲノムの解析をして生命の本質を追究するにはほかの生物，たとえばショウジョウバエのようなものでもよいわけですね。

中村——環境問題についても本質は，どの生き物も同じだけの歴史をもっているということです。たとえば生物種は教科書では100万~200万種となっていますが，実際にはその10倍ぐらいの生き物がいるらしいのです。それを人間のかってで消してしまうのはもったいない気がします。もう1回つくりなさいといっても，35億年かけてつくってきたものだから，そう簡単にはできません。森林にしてもただたんに「守りましょう」というのではなく，35億年という長い歴史をもつ生き物があそこにいるという見方があっていいのではないか。そういう役割を生物学は果たせるのではないかという気がします。

Newton——人間は生物界のいちばん上にいるつもりになって，原始的な生物は進化していないと考えがちです。どんな生物も35億年のヒストリーをもっているという見方はとてもたいせつですね。

中村——DNAで進化をみていて面白いことがあります。35億年前に誕生した最初の生命は，たぶん原核生物でしょう。真核細胞が生まれるのは15億年前です。約20億年間，つまり生物の歴史の約60％が微生物の時代だったのです。真核細胞ができてくると，すぐにそれはいくつか集合します。それができると，もう人間までは，なるべくしてなったというか，わりあい簡単になったという気がします。そのほうが時間的には短いのです。今までまったくとるに足らないものとしてみられてきた世界が，実は進化のうえでたいへん大きな役割をしてきたということがみえてきたのです。

DNAにもとづく新しい系統樹で生物の進化がみえてくる。

Newton——地球ができたのが46億年前，生命誕生が35億年前ですから，生命の誕生自体はそれほどむずかしいこと

生命は約35億年前に原始地球に誕生した。大腸菌のような原核生物の時代は約20億年つづき，約15億年前にようやく真核生物があらわれた。真核生物はDNAを増殖させる能力をもち，多様な生物界を形成した。この図はある遺伝子のDNAの分析にもとづいた系統樹である。

ではなかったのかもしれません。しかしその後，真核細胞へいくのに20億年かかったというのはすごいことですね。
中村——たぶんその間に生物の本質ができてきたのだと思います。原核生物もそれはそれですばらしい存在だと思いますが，彼らにできないのはDNAをふやすことです。彼らはむしろ最低限のDNAで生きていこうとしています。真核細胞になってDNAをふやすという能力ができた。これは不思議な能力だと思います。ここに秘密がありそうです。
Newton——DNAにむだがあったり余分なものがあったり，ちょっとまちがったりすることが，生物の多様性のスタートだったんですね。
中村——そうです。いま私が興味をもっているのは，そのような見方で生物の系統樹をかいてみたいということです。いま試みているのですが，なかなか面白くなりそうです。
Newton——それは従来の系統樹とはちがっているのですか？
中村——そんなにちがわないといえばそうですし，とてもちがうといえばちがいます。今度の系統樹では時間の流れを対数（逆対数）であらわしています。原核細胞から真核細胞までをふつうの時間スケールでかくと，20億年は長すぎてかききれません。そこで，これまではその部分を無視していたのですが，DNAで考えるとそれはできない。そこで対数にするとすべて入ります。それでかいてみると，進化は対数的に速くなっているということがわかります。大ざっぱにいうとですが……。
　それから原核生物の世界が大きなウエートを占めていることもよくわかります。カンブリア紀に爆発的に生物がふえたことも，またこれからまだ分岐していきそうなようすもみえてきます。

生物の歴史と未来をみる バイオヒストリーという視点

Newton——もう一つ，生物は陸上に上がってからまだあまり時間がたっていませんね。
中村——そうです。それも今かいているのですが，これに水の色と土の色をつけると，ほとんど水の色になります。
Newton——系統樹の枝分かれのようすからすると，脊椎（せきつい）動物から先はまだ発展途上のようにみえますが，いかがでしょうか？
中村——そういうことだと思います。進化は単調に進んだのではなく，真核細胞ができるとか，カンブリア紀に生物がふえるとか，陸に上がるとかいう可能性ができあがると，それがある時期にわっと花開いて進むのだという感じがします。止まっているところというのは，表にはみえないが，

「生命誌という見方が面白い」と語る中村先生

DNAレベルでさまざまな試みをしているところでしょう。
　もう一つ進化で面白いのは，脳があらわれてくることです。真核細胞の中に可能性があるといいましたが，その中には脳——神経系——ができてくるという可能性も秘められていたのでしょう。かなり早いヒドラなどの時期から，すでに神経系が生まれてきています。そこからわれわれの脳ができてくるわけです。
Newton——こういう面白さを全部こめて，バイオヒストリーとおっしゃっているのですね。
中村——そうです。進化は過去を知るだけでなく，未来をみる面もあります。人間の歴史もそうですが，生物の世界も同じです。過去の中に，ある種の未来があるような気がします。
Newton——先生のお話をうかがっていると，これからの生物学は楽しくなりそうですね。
中村——ナチュラル・ヒストリーの時代にあったはずの科学の日常性がもどってきたと思います。これまでの科学は専門化し，分析にかたよっていたために，そういうものを失ってきました。これからは日常感覚の中から新しいことが生まれる時代だと思います。
　生物学の専門家が，いま私のところに昆虫の標本を送ってきてくれたりしています。生命誌研究館の建物が建ったら本格的にあずかろうと思います。今ではDNAの分析などの研究をしている人も，子供のころはそういう子供だった。しかし現代生物学では忘れないといけないため，標本を押し入れにしまってあったのです。それが今，この時代になってもう一度出てきた。生物学は非常に面白い展開をしているのです。
Newton——ありがとうございました。

NEWTON SPECIAL

地球の

科学が解き明かした太陽系第三惑星の運命

松井孝典
東京大学理学部助教授

坂田俊文
東海大学情報技術センター所長

平 朝彦
東京大学海洋研究所教授

小泉武栄
東京学芸大学教育学部助教授

小池惇平
東京工業大学生命理工学部助手

濱田隆士
東京大学教養学部教授

磯部琇三
国立天文台助教授

氷河時代の地球に小惑星が衝突する。地球のこれからの長い歴史の中では，こんな瞬間が訪れることも考えられる。

大予測 未来50億年

宇宙に浮かぶ水の惑星，地球。現代の科学は
地球の過去を解明しただけでなく，未来に何がおきるのかも明らかに
しつつある。小惑星の衝突，氷河期の到来，日本列島の消滅，
地磁気の反転，そして50億年後の太陽の死。
時の流れのはるか彼方に待ち受ける地球の運命を
Newtonが予測してみた。

はるかなる未来へ

宇宙に誕生したものはすべてが進化し，やがて死をむかえる運命にある。
太陽系第三の惑星である地球も例外ではない。およそ
46億年が経過し，地球はその一生のほぼ半分を終えた。これまで地球は
みずから環境をととのえ，生命を誕生させ，それをはぐくんできた。
ではこれからの50億年を，地球はどう歩んでいくのだろうか。地球の未来を
旅してみよう。母なる地球の一生から，われわれは人類の
進むべき道を見いだせるにちがいない。

地球の歴史には，未来に

太陽系のはじまり
生まれたばかりの原始太陽が輝きはじめた。原始太陽はガス雲に囲まれ，その中のちり粒子が集まって微惑星がつくられた。現在の地球軌道周辺には直径10キロメートルほどの微惑星が，数百億個以上も存在していた。

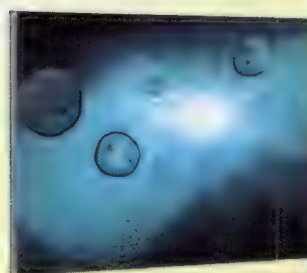
原始地球の誕生
微惑星はたがいの重力により軌道を乱され，衝突をくりかえした。その中から将来地球となる原始地球が誕生した。まわりの微惑星は，原始地球の重力に引き寄せられて次々と落下し，原始地球はしだいに成長していった。

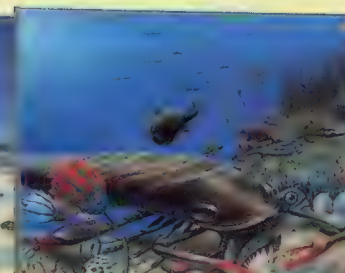
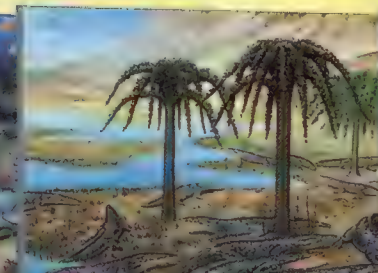
46億年前

原始大気の誕生
微惑星の衝突は地表の成分を蒸発させ，水蒸気を主成分とする原始大気が形成された。衝突で発生した熱は濃くなった原始大気にたくわえられた。地表はとけはじめ，全体がマグマ・オーシャン（マグマの海）におおわれた。

豪雨が海を生んだ。
原始地球の形成がほぼ終わり，微惑星の衝突が終息に向かうと，地表と大気が冷えはじめた。原始大気中の水蒸気は大量の雨となって地上に降り注ぎ，海が誕生した。空は晴れ上がり，大気の主成分は二酸化炭素になった。

35億～25億年前

生命の誕生と進化

生命のはじまり
生命は約35億年前には原始の海に存在していたと考えられている。その進化は遅く，原始的な多細胞生物は約7億年前に生まれた。

酸素の蓄積
ラン藻類がコロニーで光合成をはじめた。酸素は徐々に大気中に蓄積され，遅くとも約4億年前には濃度がほぼ現在と同じになった。

爆発的な進化
約7億年前にクラゲのような生物があらわれた。その後は主役となる生物が次々と交代し，古生代の海は急速な生物進化の場となった。

陸上への進出
オゾン層ができ，有害な紫外線が減少した。約4億年前にまず植物が陸上へ進出した。つづいて昆虫や両生類が上陸した。

恐竜の繁栄と絶滅
約2億年前に姿をあらわした恐竜はしだいに巨大化した。恐竜は約6500万年前の巨大隕石の衝突によって絶滅したと考えられている。

巨大大陸の形成
小大陸の衝突・合体が進み，巨大大陸が誕生した。海にとけた二酸化炭素は岩石として大陸に固定され，大気の主成分は窒素にかわった。地表の温度はさらに下がって現在の温度に近づき，地球環境はやっと安定期に入った。

25億～10億年前

パンゲアの出現
プレート・テクトニクスの時代がはじまり，大陸は離合集散をくりかえすようになった。2億5000万年前には地球上のすべての大陸が集まり，超大陸「パンゲア」を形成した。パンゲアは2億年前ごろに分裂をはじめた。

2億年前

約1億8000万年前

大気と海の誕生

1 微惑星の衝突
微惑星の衝突エネルギーは，熱となって原始地球の地表成分をガス化させる。こうして原始大気が誕生し，大気はしだいに濃密になった。

2 マグマ・オーシャン
濃密な大気の「温室効果」によって，地表の温度は上昇した。やがて地表がとけて，原始地球はマグマ・オーシャンにおおわれた。

3 地殻の形成
微惑星の衝突が減少すると，原始大気と地表は冷えはじめた。そしてマグマ・オーシャンの表面には，薄い地殻が形成されはじめた。

4 高温の雨
地表温度がさらに低下すると，100度C以上の高温の雨が降り注いだ。地上では大洪水が荒れ狂った。やがて原始の海が誕生した。

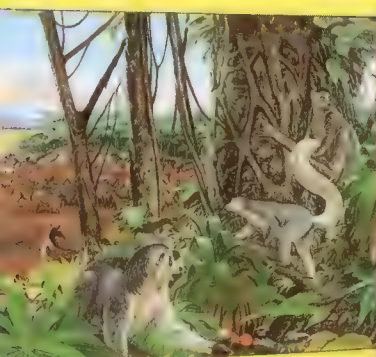
5 空の晴れ上がり
原始大気中の水蒸気が大量の雨となって除かれ，二酸化炭素が海にとけはじめて大気量が減少した。気温は下がり，空は青く輝いた。

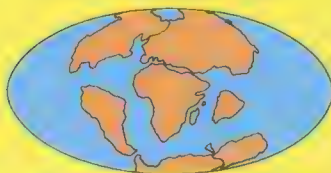
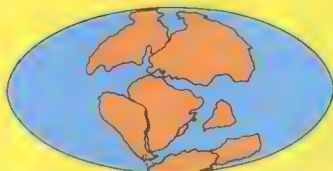
約5億年前

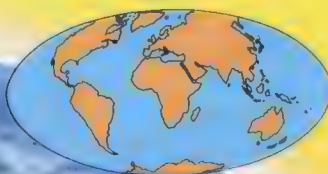
大陸は移動する。──プレート・テクトニクス
地球の表面は大小10数枚の「プレート（かたい板）」におおわれている。プレートはたがいに独立して運動し，それとともに大陸は移動する。これが「プレート・テクトニクス理論」による大陸移動の考え方である。プレートは1年に数センチメートルずつ移動する。その原動力は地球内部の熱と考えられている。

約3億5000万年前

約2億2500万年前

つづく壮大なドラマが展開していた。　松井孝典

哺乳類の時代
恐竜なき世界で，哺乳類はネズミに似た小型の動物から出発した。高い環境適応能力によって，哺乳類は世界中に散らばり，進化した。

猿人からヒトへ
約500万年前に人類は誕生した。樹上生活を捨て，草原に進出した「猿人」は直立二足歩行をし，「原人」などを経て現在に至った。

現在

現在

今から約46億年前，ぼう大な数の微惑星が地球軌道周辺をまわっていた。これらの微惑星が衝突をくりかえす中から，将来地球となる「原始地球」が成長した。質量を増した原始地球は，衝突により蒸発した水蒸気を主成分とする「原始大気」に囲まれていた。その地表は，衝突により発生した熱によってとけていた。

原始地球が現在の大きさに近づくと，微惑星との衝突が減り，地表で解放される熱も少なくなり，地表は冷えはじめた。地表が冷えるとそれをおおう原始水蒸気大気も冷え，水蒸気は雨となった。天の底を抜くかのような豪雨の果てに海が誕生した。水蒸気が雨となって地表に落ちたあとの原始大気は，二酸化炭素を主成分としたものとなった。

二酸化炭素からなる大気は，地表に大陸が生まれて大きく成長するにつれ，窒素を主成分とする大気にかわった。それとともに地表の温度も現在に近くなった。この安定した地表環境の下で原始の生命が生まれて進化し，光合成生物が生まれた。光合成生物は太陽光をエネルギー源とし，水と二酸化炭素からみずからの体となる有機物をつくった。

光合成生物が死ぬと有機物は大気中の酸素により酸化され，ふたたび水と二酸化炭素にもどる。しかし死後，有機物が酸化される前に地下に埋没するなどしてこの循環が乱されると，大気中に酸素がたまる。現在のような大気成分と地表環境は，このようにして実現したのである。

地球は活動をつづける。
われわれが暮らす地球は46億年にわたるたえまない変化の末，現在のような姿となった。地球の活動は今もつづき，今後も止まることはない。地球内部の熱エネルギー源はまだ数十億年は優にもつと推測されている。

100年後，地球温暖化が招く最悪のカタス

人間の生活環境は現在では地球全体に広がっている。人類は発生以来，住みやすい環境や食糧を求めて地上に拡散していったのだろう。生活しやすい地域には人が集中し，集落が長く存在したと思われるところがある。これが遺跡（いせき）として残ったり，現在も都市としてつづいていたりするのである。

都市は河川や湖のほとりにあり，農地としての広がりをもつところが多い。時代によっては海岸や山地に存在することもある。森林や草地を背景にもつ場合が多い。それらの条件をそなえた地域は北半球の中緯度帯に多く点在している。

過去の歴史の中で多くの都市が生まれ，消え，滅びていった。この都市の栄枯盛衰は環境の変化によるところが多い。つまり森林や草地などの自然条件と，農耕の存続という人的条件によって都市の存在は左右されるのである。したがって太陽活動や，地球の温暖化・寒冷化は人類の移動にも関係してきたはずである。

古代都市の遺跡の多くは地球の中緯度，現在乾燥帯とよばれる砂漠や草原にある。もともとは緑の豊かな水に恵まれたところであったろう。しかし気候の変動とともに環境がかわり，乾燥化などによって都市は衰退していったと考えられる。

都市の崩壊（ほうかい）にともなう民族の移動は，人口が少なかったことや国境が今ほど明確でなかったため，気候変動に対応することができた。しかし今日では人口数や国境が障害になるだろうし，紛争（ふんそう）も多発するかもしれない。また社会構造や経済メカニズムの崩壊が大きな問題となるであろう。100年程度の間に温暖化の影響があらわれるとしたら，パニックやカタストロフィー（破局）が生じる可能性が高い。そのためにも温暖化の人為的な要因の対策を早急にとり，温暖化に耐えうる都市構造につくりかえなければならないだろう。

都市の分布と気候

世界の衛星画像に主な遺跡と，現在の都市の位置を示した。茶色にみえる部分が乾燥した地域，緑色の部分が湿潤な地域である。今は遺跡となっている古代都市のほとんどは，乾燥帯に分布[illegible]現在の大都市の[illegible]湿潤な地域にある。温暖化に[illegible]の都市は衰退し[illegible]や東[illegible]など高緯度地方が都市化する[illegible]。

トロフィー。

坂田俊文

温暖化によって地球の温度分布がかわるとすれば，このパリのような大都市は乾燥化して衰退し，人々はより湿潤（しつじゅん）な新しい居住地域へと移住していくだろう。

小惑星が衝突する危険性は，過去も未来も

地球は無数の微惑星との衝突を通じて誕生した。以後およそ46億年が経過したが，衝突は今もつづいている。

太陽系の天体はいずれもその形成後に，隕石とひんぱんに衝突する「隕石大爆撃期」を経験したと考えられている。地球もその例外ではない。地球の隕石大爆撃期は約39億年前に終わり，その後約9億年かけて現在の衝突頻度程度にまで下がった。以来ほとんど定常的な状態にあると推測されている。

現在の衝突頻度は，直径10キロメートルぐらいの天体が約3000万年に1回ぐらい，1キロメートルぐらいだと数十万年に1回，100メートルぐらいだと1000年に1回ぐらいと推定される。地球の寿命はまだ半分以上残されているので，確率的にいって小惑星の衝突は今後も十分にありうる。

最近のいくつかの衝突例をあげると，今から6500万年前の衝突が有名である。10キロメートルぐらいの小惑星が衝突し，恐竜の大絶滅の引き金となった大規模な環境変化を引きおこしている。

20世紀はじめには，シベリアに直径約100メートルの彗星(すいせい)が衝突した。このときは彗星が大気中で爆発し，その直下の森林を数百平方キロメートルにわたってなぎ倒した。この爆発は世界の気圧計や地震計に記録され，「ツングース爆発」として世に知られている。

現在知られている小惑星の一つに「トータチス」がある。直径約1キロメートルのトータチスは，今後1996年，2000年，2004年に地球に接近する。接近のたびに地球の重力などの影響を受けて軌道がずれる可能性もある。地球に衝突するかどうかは今のところ不明である。

3000メートル級の山の近くに，直径約10キロメートルの小惑星が落下したときの想像図。小惑星が秒速20キロメートルで衝突したとすると，クレーターの深さは30キロメートルをこえ，マントルにまで達する。最終的には直径100キロメートルの大クレーターが形成される。

ほぼ同じである。松井孝典

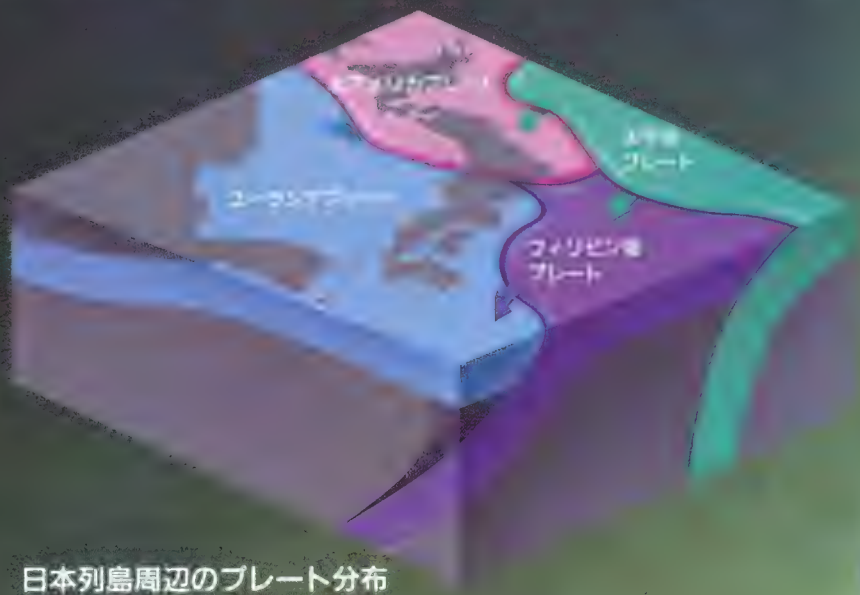
1 2 3

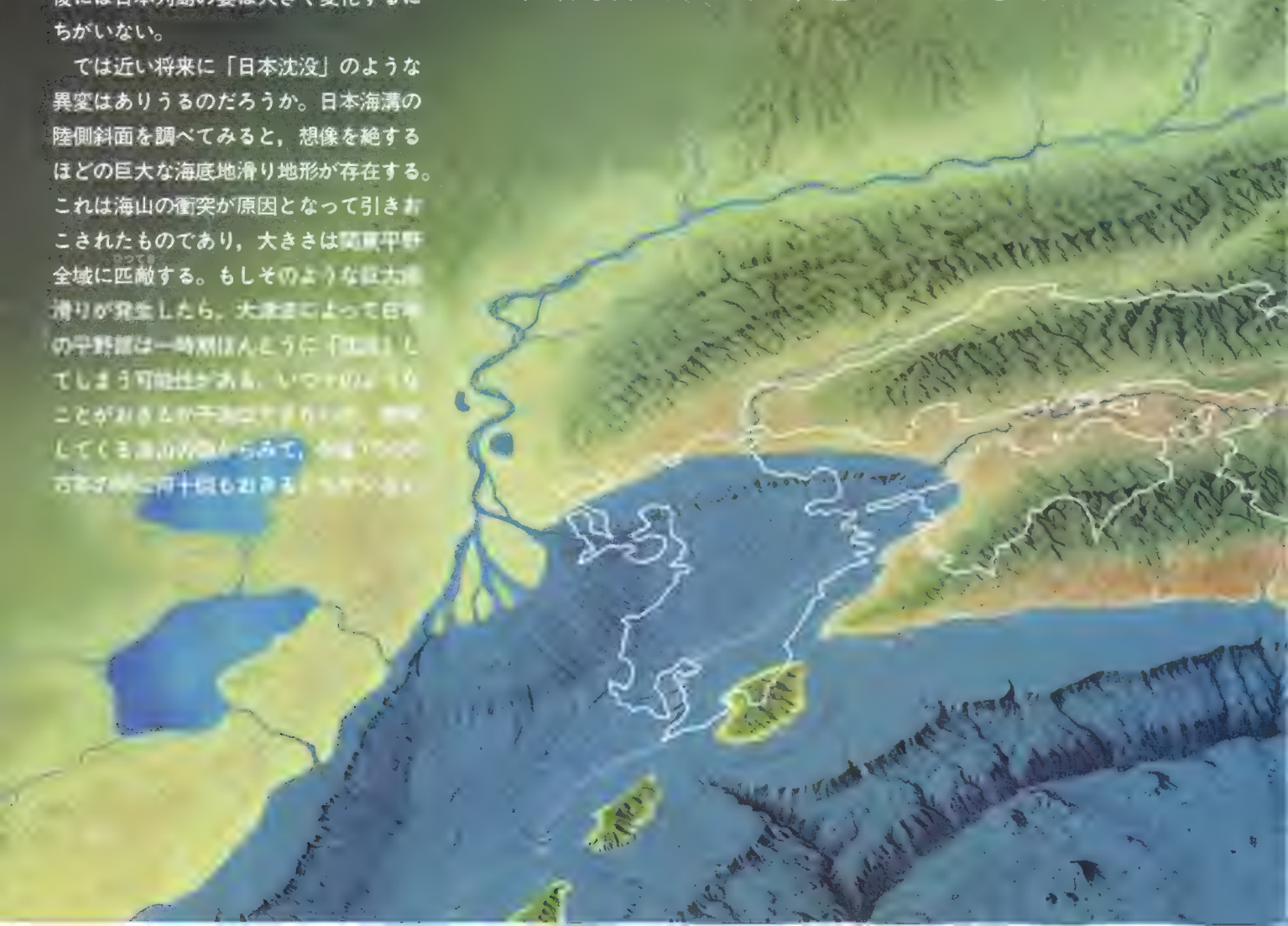
衝突後，気候の大変動がおきる。
落下場所が海と陸とでは，その後のシナリオがことなる。海の場合，
1 大量のちりとともに噴き上げられた水蒸気の温室効果で，雲のでき方によっては地表は酷暑となる。
2 大量の水蒸気はやがて雨となって降下するので，温室効果による高温期は短期間で終わる。
3 太陽光をさえぎる大量のちりのために，地表は寒冷化する。
陸の場合は，すぐ寒冷化に向かう。

日本列島は1500万年の間に消滅する。

近年，日本周辺のプレート沈みこみの現場である海溝の研究が進んだ。この結果，海溝には付加型と浸食型の二つのタイプがあることがわかってきた。付加型の海溝では，海洋プレート上の堆積物がはぎ取られ，陸側につけ加わって新しい地殻が成長している。一方，浸食型の海溝では，海洋プレートが陸側の地殻を次々と破壊・浸食し，けずりかすを地球内部へ運びこんでいる。海溝での堆積物の量によってこのようなちがいがおきる。

付加型の海溝の例は西南日本沖の南海トラフ，浸食型の海溝は東北日本沖の日本海溝である。西南日本沖では陸地が成長して隆起しつつあり（1000万年で海底が約10キロ隆起），東北日本沖では陸地が浸食され，沈降しつつある（1000万年で海底が約2キロ沈降）。1500万年後には日本列島の姿は大きく変化するにちがいない。

では近い将来に「日本沈没」のような異変はありうるのだろうか。日本海溝の陸側斜面を調べてみると，想像を絶するほどの巨大な海底地滑り地形が存在する。これは海山の衝突が原因となって引きおこされたものであり，大きさは関東平野全域に匹敵する。もしそのような巨大地滑りが発生したら，大津波によって日本の平野部は一時期ほんとうに「沈没」してしまう可能性がある。[illegible]ことがおきるか[illegible]，[illegible]してくる海山の[illegible]からみて，[illegible]に何十回もおきる[illegible]

日本列島周辺のプレート分布

日本周辺の地球表面は四つのプレート（ブロック）に分かれている。太平洋プレートは北アメリカプレートとフィリピン海プレートの下にもぐりこみ，フィリピン海プレートはユーラシアプレートの下にもぐりこもうとしている。ユーラシアプレートが北アメリカプレートの下にもぐりこんでいるとすれば，大陸はしだいに日本に近づく。

日本海にある北アメリカプレートとユーラシアプレートの境界が沈みこみ帯に変化し，大陸が日本側に近づいて1500万年後までに日本海は消滅する。プレートのぶつかり合いにより，そこには5000メートル級の火山帯とアンデスのような褶曲山脈ができる。千島海盆は湖に変化する。東北日本はけずり取られて，いくつかの島を残すのみとなる。一方，西南日本沖には陸地が成長し，伊豆諸島の一部がつけ加わっている。沖縄トラフの拡大によって九州は南北に分裂し，南部はいくつかの島となり，北部は大陸に加わる。大山脈の西側には大水系が発達し，河口には巨大な三角州が形成される。

1万年後までに，地球はふたたび氷期に突入

およそ100万年前，地球は氷河時代に突入した。北ヨーロッパや北アメリカには現在の南極のような大陸氷河ができ，海面も100メートル余り低下した。しかし100万年の間，つねに寒かったわけではなく，数万年から10数万年周期で寒冷な氷期と比較的温暖な間氷期とがくりかえしあらわれた。最後の氷期はおよそ7万年前にはじまり，1万年前に終了した。現在は間氷期にあたり，温暖のピークは約6000年前の縄文(じょうもん)前期にあった。それ以後，地球は基本的に寒冷化に向かう傾向にある。縄文晩期ごろのネオグラシエーションとよばれる寒冷期や，江戸時代の小氷期はそのあらわれであろう。

現在問題になっている地球温暖化は，寒冷化に向かう地球を人類がむりやり逆の方向にねじ曲げているものとみることができる。温暖化のテンポがもっとゆっくりなら寒冷化とは相殺(そうさい)することになったはずである。しかし寒冷化は1000年で1度C程度の変化であるのに対して，温暖化は100～200年で2度Cという急速なものである。したがって温暖化のほうがはるかに優勢である。この速すぎる変化は移動能力にとぼしい植物に壊滅的な打撃をあたえ，ひいては動物や人類の生存をおびやかすことになるだろう。

ただ資源の枯渇(こかつ)による経済活動の停滞で二酸化炭素が減り，原子力発電の低迷などで熱の排出が減少すれば，温暖化はおさまり，その後地球はふたたびゆっくりと氷期に向かっていくことになると考えられる。ただしその変化には数千年から1万年程度はかかるはずである。

東京都立大学の野上道男教授が作製

日本の潜在植生と最終氷期最寒冷時の推定植生

暖かさの指数によって推定された現在の日本の潜在（自然）植生帯（上）と，最終氷期最寒冷時（気温が今より7度C低かったと仮定）の推定植生帯（下）。赤は常緑広葉樹林（暖温帯），オレンジは常緑針葉樹・落葉広葉樹（コナラ）林（中間温帯），黄色は落葉広葉樹林（冷温帯），緑は常緑針葉樹林（亜寒帯），水色はツンドラ植生（寒帯）である。次に訪れる氷期が最終氷期と同じくらい寒冷化した場合，北海道のほとんどはツンドラ植生におおわれ，中間温帯や暖温帯は本州からもなくなってしまう可能性がある。ツバキなどの常緑広葉樹（照葉樹）は海岸部に細々と生き残るのみとなるかもしれない。

する？

小泉武栄

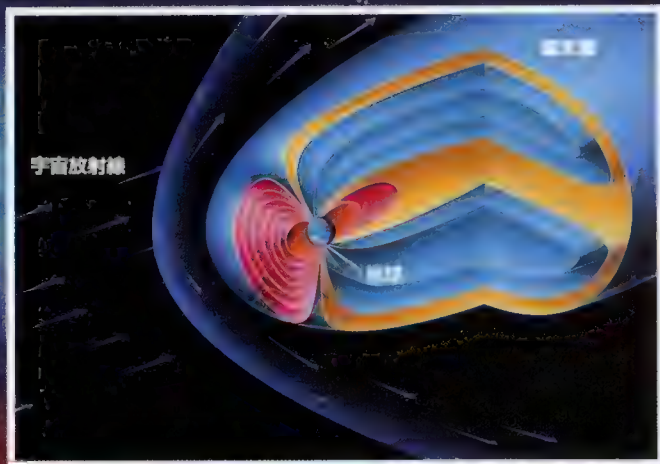
氷床最発達時の北アメリカおよびカナダ地方。約1万8000年前，カナダは氷床におおいつくされ，ニューヨークを含む北アメリカの一部も氷河の下敷きになっていた。寒冷化が進みふたたび氷期が訪れれば，同じ光景が展開することも十分考えられる。

2000年後，地磁気がなく

なり宇宙放射線が地球を直撃する。

小池惇平

地球磁気圏と宇宙放射線

地球は大気圏と磁気圏という二重のバリアーによって，宇宙放射線から守られている。磁石に鉄粉をふりかけるとNとSを中心にして双極性のリングができるのと同じように，磁気圏は北極と南極を中心として地球を取り巻いている。オーロラは両極に太陽からの電離気体分子のシャワーが吹きこんで，大気と電気化学反応をおこすことにより発生する。

40万年に1度，地磁気の反転がおきるといわれている。つまり地球の北と南が入れかわるわけである。このときある一定の期間，地磁気は消滅する。地磁気の反転がなぜおきるのかはまだ明らかにされていないが，過去に反転がおきたという事実は，その当時の岩石に残された地磁気の測定から確認されている。それによると，いま地球の磁気はなくなる方向に向かっているようである。あと2000年もすればゼロになり，北と南が反転するだろうと予測されている。

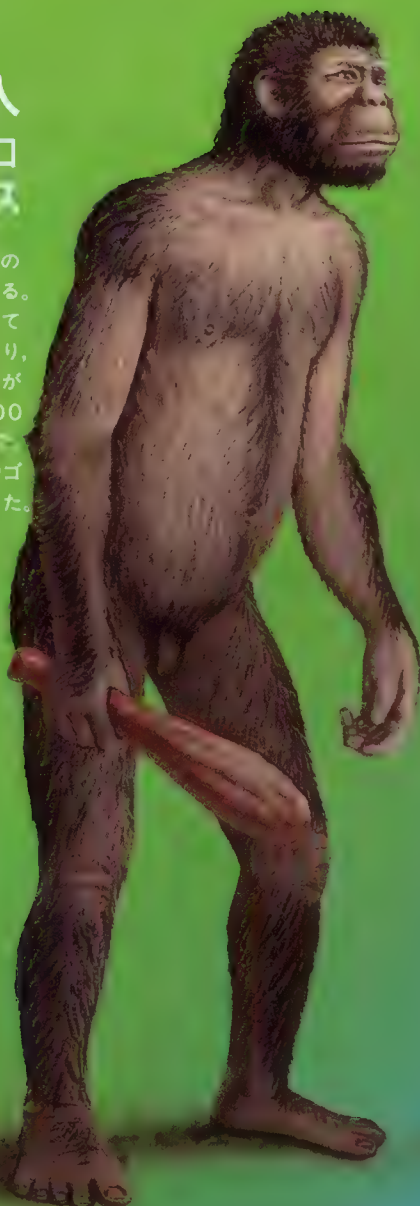
では地磁気がなくなったらどんな現象が地球上におきるだろう。地磁気がなくなれば宇宙放射線が直接地球に降りかかることになる。この宇宙放射線の大部分は太陽からの陽子粒子よりなっていて，それにエネルギーの強い重粒子や銀河宇宙線などが加わる。まず目に見える現象として地球のいたるところにオーロラがあらわれるだろう。渡り鳥は地球の磁気を感知して方向を決めているという。したがって地磁気がなくなればハクチョウやガンなどは渡りをやめ，一年中一定の場所にみられることになる。こうした変化はむしろ好ましいものかもしれない。

しかし宇宙放射線の多くは，遺伝子であるDNA（デオキシリボ核酸）の二重鎖(さ)を切断して突然変異をおこす強い作用をもっている。現に宇宙飛行士は1年以上宇宙に滞在すると，宇宙放射線被曝(ひばく)が問題になってくる。ここから推測しても，何千年何万年もの長期間，宇宙放射線にさらされたら地球の生物には大異変がおきるにちがいない。

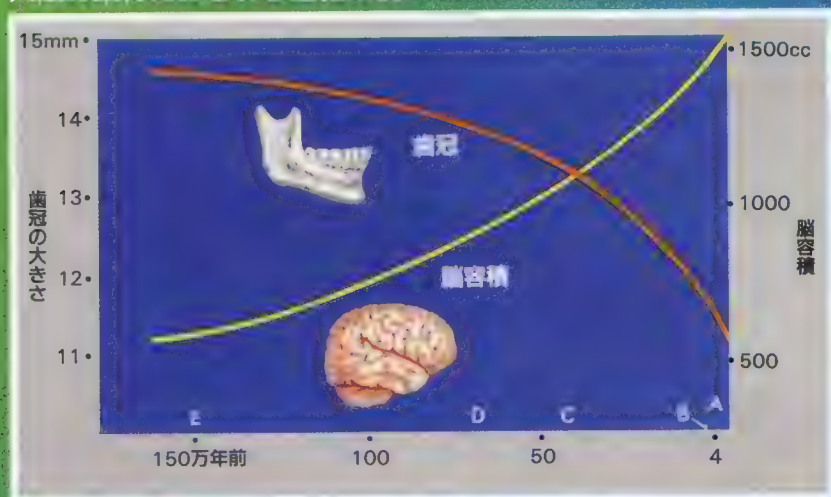
地磁気がなくなると，地球上から放射線に弱い動物（哺乳類(ほにゅうるい)など）が淘汰(とうた)される。かたい殻(から)をもった昆虫や甲殻類(こうかくるい)は生き残り，突然変異をくりかえして巨大化していく。植物相はシダ類や藻類(そうるい)が優勢となる。放射線は水の層ではほとんどしゃへいされてしまうため，海中深くに生息する生物は大部分が生き残るであろう。

人類は

猿人
アウストラロピテクス

アフリカなどで多数の化石が発見されている。これまでに確認されている最古の人類であり，今の人類とは属がちがう。脳容積は400[illegible]今のチンパンジーやゴリラと同じ程度だった。

現代人
ホモ・サピエンス

約4万年前から現代までの人類。ホモ属にはジャワ原人や北京原人，ハイデルベルク人，ネアンデルタール人なども含まれる。技術依存による生理的な弱体化がはじまっている。

人類の頭骨にみられる進化の例

人類の脳容積は，その出現以来指数的に増加している。一方，歯冠の大きさ（下顎第一大臼歯の長さと幅の平均値）は急速に減少している。A：現代人，B：ネアンデルタール人，C：北京原人，D：ジャワ原人，E：アウストラロピテクス。

数十万年後，新しい種へと進化する。 濱田隆士

未来人 エデノピテクス

数十万年後に出現する新しい人類。アウストラロピテクスと同じように，もはや現代人とはちがう属になっている。エデノピテクスとは「歯のないサル」という意味で，歯や足の指などが痕跡的にしか残っていない。生活能力の減退や心肺機能のアンバランスに起因する内臓疾患の多発によって，あまり長くは存続できないであろう。

生物個体に寿命があるように，生物種にも寿命がある。しかしこれは必ずしも種の死滅を意味しない。新しい進化の段階，新しい種への移行という形をとることもありうる。哺乳類の場合，種の寿命は約30万年である。人類（ホモ）が猿人（アウストラロピテクス）にとってかわってから60万年がたっているとすると，もういつ寿命がつきてもいいことになる。

いま問題となっている地球の温暖化が急速に進めば，陸上の生態系はいちじるしくせまくなる。したがって人口過多を原因とする「調整」がおきることは確実である。それが淘汰を引きおこしたり，進化上の外圧となったりするかどうかは，そうした現象の進行時間によるであろう。

ここでかりに人類が何らかの方法で，首尾よく温暖化による混乱を乗り切ったとしよう。人類の生活圏のほとんどは今のミクロネシアや東南アジアのように，一年中暖かい気候がつづくようになっているだろう。その結果，人間はより怠惰になり，極端な技術依存の下に生活するようになる。ただしその技術の発達もある時点で停滞し，今とそれほどかけはなれてはいないとする。

以上のような仮定の下に，数十万年後の未来人の姿を想像してみる。まず人類の出現以来つづいている急速な脳容積の増大と歯の退化によって極端に頭部が大きくなり，歯はほとんどなくなってあごが小さくなる。巨大な頭を支えるため首が太くなり，バランスをとるために足は大きな扁平足になる。建物の中にいてほとんど動かないため腕や脚部は細く弱体化し，腰も小さくなり，皮膚は白く体毛が薄くなる。流動食のようなものしか食べないため腸も短くなり，それだけ胴体がちぢんで全体にすづまりになる。このころになると生殖も人工授精などにたよるようになるため，性器は退化している。

夜空がかわる。東京に南十字星が昇り，北斗七星

昔の人々は，夜空の星々が毎夜規則正しくあらわれ，沈んでいく姿をみて，悠久にかわらないものと考えていた。しかし実際には，夜空の星の多くはいくつかの原因で位置をかえているのである。そして長い年月の間には，星の並びはすっかりかわってしまうことになる。

「歳差」とよばれる地球の自転軸の動きによって，夜空にみえる星座の種類は変化する。約1万3000年後，天の北極の方向は今の北極星からはずれ，こと座のベガ（織女星）の近くになる。そのため現在ではみることのできない「南十字星（みなみじゅうじ座）」が，日本の本州でもみられるようになる。

夜空の星々は超音速ジェット機より速く，毎秒10キロメートルもの高速でさまざまな方向に動いている。そのためそれぞれの星の距離と方向によって，天球上でことなった方向に動く。そして数十万年もすれば，星座の星の並びは大きくかわってしまう。たとえば10万年後，北斗七星はひしゃくの柄の部分が折れたような形になってしまう。

われわれの銀河系内の星は，ある距離より外側ではどれも毎秒250キロメートルほどの高速で中心のまわりをまわっている。中心から3万光年ほどの距離にある太陽のあたりでは，約2億年で1回転する。銀河系の内側のほうが短期間に，外側のほうが長期間かけてまわるため，地球からみる星の分布はすっかりかわってしまう。

われわれの銀河系は「局部銀河群」という数十個の銀河からなる銀河集団のうちの一つに含まれている。これらの銀河はそれぞれの軌道でまわっている。10億年もたつと銀河の分布までかわってしまうのである。

おおかみ座

ケンタウルス座

コンパス座

みなみじゅうじ座

はえ座

カメレオン座

南南東

南

1万3000年後の1月初旬の星空
（午後8時ころ，東京からみた地平付近）
1万3000年後，夜空をいろどる星座はメンバーがすっかりかわっている。これは「歳差」とよばれる自転軸の移動によっておきる。この結果，南半球のシンボルであるはずの「南十字星（みなみじゅうじ座）」が，日本の本州でもみられるようになる。南十字星は全天で最も小さく，美しい星座として知られている。

は柄が折れる。 磯部琇三

1993年1月初旬の星空
（午後8時ころ、東京からみた地平付近）

エリダヌス座
うお座
うさぎ座
くじら座
南南東
南
南南西

からす座

うみへび座

コップ座

ポンプ座

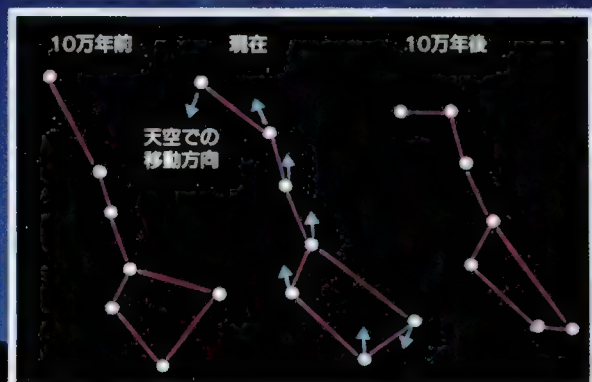
南南西

地球の首振り運動

コマは回転が遅くなってくると、首を振りはじめる。同じことが地球の自転軸でもおきていて、「歳差」とよばれている。地球の自転軸は約2万6000年の周期で動いている。このため天の北極は現在の北極星から移動し、1万3000年後にはベガが北極の方向を指すことになる。天の北極の位置が変わるために、みえる星座も変化するのである。

4600年前 りゅう座のアルファ星
現在の北極星
1万3000年後 こと座のベガ
6500年後 ケフェウス座のアルファ星
自転軸
地球

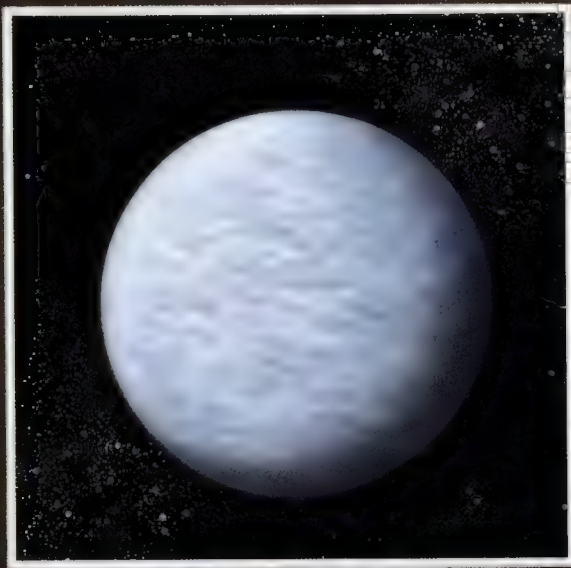
北斗七星の形がかわる。

北斗七星の形はしだいに変化している。10万年前と現在、10万年後をくらべるとかなりちがっていることがわかる。天空上の星はそれぞれが固有の運動をしている。その移動する方向がまちまちであるため、星座の形は時間とともに変化していくのである。

数億年後，地表の水はすべて蒸発し，生命は

太陽はその内部で水素を燃やして輝いている。その結果，燃えかすに相当するヘリウムがつくられる。ヘリウムは水素より重い。このため太陽の内部には，時間がたつにつれてしだいに重いものがたまるようになる。重くなると周囲を強い重力で引き寄せてちぢまろうとするため，内部はより高温高圧になり，水素の燃え方がさらによくなる。つまりより多くの熱エネルギーが内部で発生する。この熱が太陽内部の対流を通じて表面に運ばれ，太陽光として宇宙空間に捨てられる。すなわち太陽の輝きは時間の経過とともに明るさを増すことになる。

現在太陽の光度は1億年におよそ1%の割合で増加している。太陽光度の増加は地球の地表温度を上昇させる。大気中の二酸化炭素は「温室効果」という地球を温める性質をもっている。したがって太陽光度が増加しても，二酸化炭素の濃度が下がれば地表温度は上昇しにくくなるという考えがなりたつ。しかし現在の大気中の二酸化炭素の濃度は，自然状態としては過去最低に近いレベルにある。今後の太陽の光度上昇による影響を，二酸化炭素の減少によって相殺（そうさい）することはもはやできないのである。

すなわち地球の地表温度は今後上昇しはじめ，ついには海が蒸発してなくなるという事態をむかえる。そこに至るまでの時間は数億年程度と予想される。地表付近の気温は100度Cをこえ，地上にはもはや1滴の水も存在しない。蒸発した水はおよそ100キロメートル以上もの上空でなければ雲になることができず，雨が地表に届くことはなくなる。

こうして地球の生態系は永遠に失われるのである。そして地球は，生命をはぐくむ惑星から第二の金星へと変化する。

第二の金星と化した地球
すべての水が蒸発し，厚い雲におおわれた地球の姿。太陽光が雲に反射され，白く輝いてみえる。厚い雲と乾ききった大地は，現在の金星の状況とよく似ている。

永遠に失われる。

松井孝典

地表からあらゆる水が蒸発してしまうと，地球はこのような光景となる。太陽の光度の増加によって，地球の地表温度はあと数億年で100度Cに達してしまう。地表から高度約100キロメートルまでの大気は乾燥し，雲はそれより上空にとどまる。

50億年後，太陽が膨張しはじめ，地球は最後

星の一生は星の質量によって決まる。太陽ぐらいの質量の星の場合，熱を発生して輝いている期間は約100億年である。熱は内部でおきている「核融合反応」によって生じている。星の中心部での核融合反応は水素からはじまり，その結果つくられる元素が鉄元素に至ると終わる。

およそ50億年後，太陽の中心部では水素の核融合反応が終息に向かう。ヘリウムどうしの核融合によって中心部の温度が上昇し，表層付近が膨張（ぼうちょう）しはじめる。太陽の表面温度は膨張にともなって低下し，色は赤くなる。太陽は「赤色巨星」とよばれる星に変化するのである。

太陽の近くを公転している惑星はしだいに太陽にのみこまれていく。膨張した太陽の表層付近のガスはブレーキのはたらきをし，惑星は公転運動のエネルギーを失い，らせんをえがいて太陽に落ちこんでいく。最終的には全体がとけて蒸発し，のみこまれた惑星は太陽のガスの一部となる。

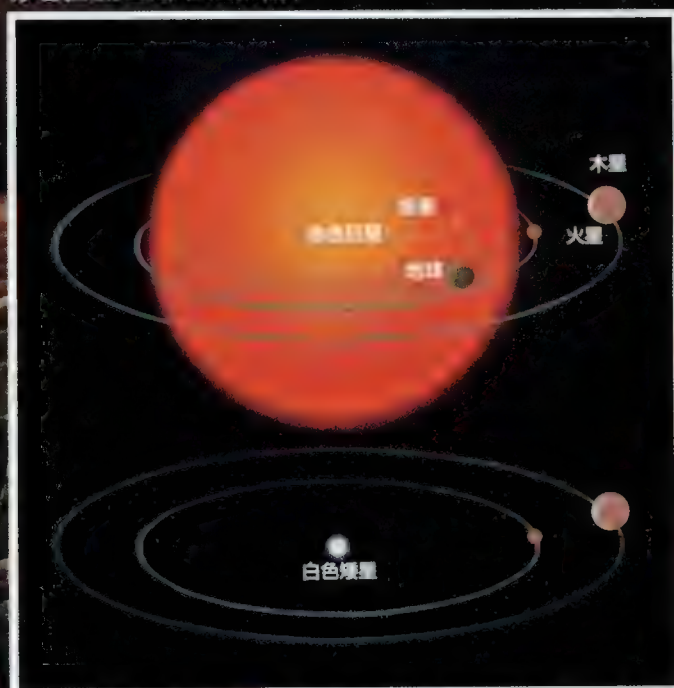
地球もこの運命からはのがれられないであろう。地球は最後の瞬間まで太陽のまわりをまわりつづけ，約100億年にわたる一生を終えるのである。

われわれが地上にどんな永遠の建造物を残そうとしてもそれは意味がない。地球の最後の瞬間には，地上のすべてのものが地球とともに消滅してしまう。その意味では，われわれがこの宇宙に存在したあかしは，地球を飛び立ち銀河系を放浪する宇宙船と，地球を発した電波に乗った情報のみということになる。

太陽が「赤色巨星」と化し，膨張しはじめた。地球をおおっていた大気は熱によってプラズマ化し，宇宙空間に飛び去ってしまった。いま地球に最後の時が訪れようとしている。

の時をむかえる。

松井孝典

赤色巨星となった太陽

膨張した太陽に水星，金星，地球がのみこまれた。太陽の表面温度は膨張とともに低下し，表面の色が赤くなった。太陽は赤色巨星に生まれかわったのである。中心部で核融合反応がおきなくなると，赤色巨星は急激に収縮して高温高密の「白色矮星」となる。白色矮星が冷えて「暗黒星」と化したとき，太陽系から光が失われる。

人類はなんのために存在するのか。——

人類は異常な事態をむかえている。

人類の起源は少なくとも数百万年，最近の最も古い人骨の発見によれば400万年ぐらい前までさかのぼる。その間に猿人，原人，旧人と進化して，今の新人に至った。

数百万年におよぶ人類の歴史の中で，現在につながる最も画期的な事件を一つあげるとすれば，それは約1万年前に農耕・牧畜という生活様式を選択したことである。このとき，人類はそれまで採用してきた狩猟・採集という生き方をやめ，地球を利用する新しい生き方をはじめた。農耕にしろ牧畜にしろ，その本質は自然生態系の中に人工の生態系を導入することである。なんのためにといわれれば，より多くの人類がより安定して生存できるようにするためである。

いま流行の地球にやさしい生き方とは，簡単にいえば自然の生態系の中に閉じた形で生きるということである。狩猟・採集とはまさにそのような生き方であった。しかし狩猟・採集だけでは，地球上に住める人口は約1000万人が上限と考えられる。たしかに1万年以前の人口は，500万人程度と推定されている。

自然を知り，それを利用する生き方を選択した人類は，安定的な食糧補給の道を得て人口も増加する。その増加はいわゆる幾何級数的な増加で，最近数百年間はとくにいちじるしい。人口が倍になるのにかかる時間は，数千年のオーダーから数百年を経て，今や数十年のオーダーになっている。この異常さは，このままいけば数千年を経ずして人類の重さが地球の重さに等しくなるということを考えてみればよい。

人類の未来は地上では有限である。

ここで，地球に住める人口の上限がどのくらいかを推定してみよう。

人口の爆発的な増加

今や世界の人口は50億人をこえた。このままの勢いでいくと，2050年以前に100億人に達するものと予測されている。将来の食糧生産量を考えると，人類の増加にはもはや限界がみえはじめている。

60億人

スペースシャトル打ち上げ

人類月面に着陸

最初の人工衛星打ち上げ

飛行機の開発

産業革命

この問題を解くかぎは宇宙にある。松井孝典

すべての人が現在のアメリカ並みの食生活を送るとする。1人が年間必要とする食糧を穀物量に換算すると0.8トンである。これに対して現在の穀物生産量は約19億トンである。これから耕地にかえられる土地の面積，単位面積あたりの収量などの増加，多毛作の可能性などを考慮すると，将来の穀物生産量は4倍近くにふえ，約76億トン程度にはなる。

総穀物生産量を1人あたりの消費量で割ると，21世紀に豊かに暮らせる人の数が得られる。それは約100億人である。現在の国連人口基金による統計予測では，最も可能性の高いケースとして，21世紀なかばにこの人口に達すると予想されている。

しかしここで注意しなければならないことがある。この100億人という人口は一つの目安であり，それを維持できる期間が有限なことである。それは100年程度しかつづかない。ライフスタイルを修正し，省エネルギー・省資源に努めたとしても，この数値を1桁(けた)上げるのが精いっぱいであろう。われわれの未来はいずれにせよ有限なのである。

これからの人類は宇宙で進化する。

宇宙的タイムスケールでみれば，われわれのような知的生命体は，宇宙が進化するうちのある一時期にしか存在しえない。これはビッグバンではじまり，その後生みだされたすべての物質や秩序や構造の宿命的な定めである。その意味では，われわれはたんに生きのびるために生きる存在ではなく，何かのために生きる生物といえる。環境問題をはじめとして，さまざまな文明の問題が認識される時代は，まさにこの何かがなんなのかを問われる時代といえる。

最近NASA（アメリカ航空宇宙局）が，地球外文明からの信号を受信する研究にふたたび予算をつけた。このようなET(地球外生物)さがしは，前述の問いに対する挑戦(ちょうせん)の一つである。あるいは21世紀の有人火星探査に向け，無人火星探査機が1992年からアメリカ，ロシア（CIS），ヨーロッパでほぼ2年ごとに打ち上げられるのも同様である。

地球上の生命は，新しい環境が出現するたびに挑戦し，そこに住みつくことに成功してきた。現在この地球上で，生命の存在しない環境はないといえるくらい広く分布している。生命の進化は，新しい環境に進出することで必然的におきる過程ともいえる。われわれとて生命にほかならず，この意味では将来も進化していくと考えられる。

問題は新しい環境，これをニューフロンティアとよぶと，それがどこにあるかという点である。宇宙はその最も有効な候補である。われわれは宇宙に進出することでわれわれとはなんなのかについて認識を深め，新しい未来を開いていく生命体なのではなかろうか。

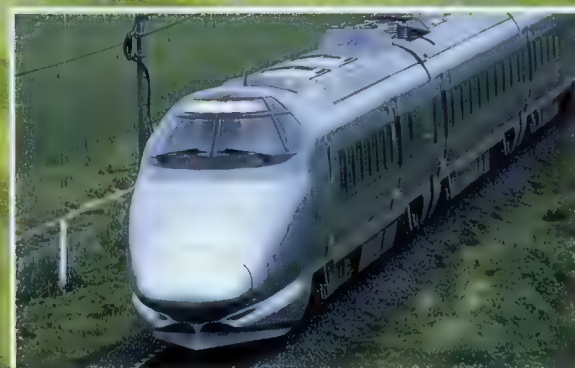
火星に向かう有人宇宙船の想像図。21世紀には人類は火星に到達するであろう。人類は宇宙という新しい環境に乗りだすことによって，新たな進化をとげるのかもしれない。

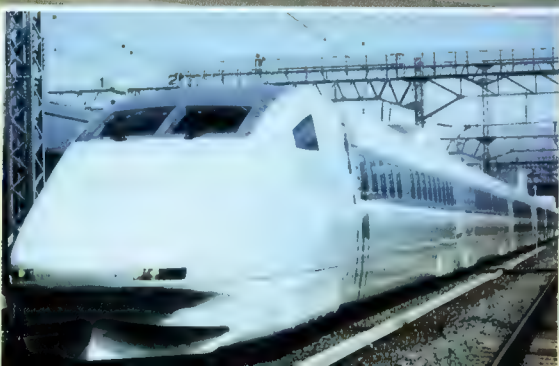
新幹線 高速化

昨年JR東海の「のぞみ」，JR東日本の「つばさ」が営業運転を開始し，またJR東日本の「STAR21」やJR西日本の「WIN350」などの新幹線試験車両が，時速350キロの壁をこえた。騒音や振動をおさえながら，はたして新幹線は今後どこまで速くなるのだろうか。超高速の次世代新幹線構想「ATLAS計画」を中心に，新幹線高速化への展望を探る。

(財)鉄道総合技術研究所 [illegible] **大山忠夫**

JR東海の「のぞみ」。[illegible]

JR東日本の [illegible] 92年7月から営業運転を開始した。

JR西日本の試験車両「WIN350」

JR東日本の試験車両「STAR21」

フランスの新幹線「TGVアトランティック」。1990年5月，時速515.3キロという鉄道の世界最高速度を達成した。これは世界の鉄道界に衝撃をあたえると同時に，鉄道の高速化に自信をもたせる結果ともなった。

高速化をめざす世界の新幹線

最近，世界的に鉄道の役割が再評価されるようになってきた。安全で時間的に正確であることに加えて，クリーンでエネルギー効率の高い輸送機関である鉄道が，地球環境を守っていくうえでも大いに貢献(こうけん)できると考えられるからである。

鉄道を多くの人に利用してもらうには，ほかの交通機関にくらべて便利でなければならない。便利さの一つとして，目的地までできるだけ早く到着すること，すなわち旅行時間を短くすることがあげられる。そのために世界の鉄道が高速化をめざしている。フランスの「TGV アトランティック」が時速 515.3 キロという世界最高の速度記録を達成したことは，あまりに有名である。この記録が世界の鉄道にあたえた衝撃は大きく，同時に鉄道の高速化に自信をもたせる結果となった。フランス以外にもドイツの「ICE」やイタリアの「ETR」など，高速列車の開発はめじろ押しである。

日本の新幹線がめざすもの

日本でも JR 各社が新幹線の速度向上にしのぎをけずっている。JR 東海は東海道新幹線で「のぞみ」による時速 270 キロ営業運転をはじめた。JR 東日本「STAR21」や，JR 西日本の「WIN350」という試験列車は，時速 350 キロ以上の速度記録を達成し，さらに高い速度をねらっている。

ヨーロッパなどの高速鉄道とちがい，日本の新幹線では国土の条件によって沿線に住宅が密集している区間が多い。そのため社会環境との調和という点から，走行中の騒音(そうおん)や振動をできるだけ小さくすることが重要な課題となる。これまで営業速度を高くできなかったのは，そのようなことも一つの理由である。長期間にわたる研究開発を積み重ねた結果，時速 300 キロで騒音の基準を達成することがようやく可能な範囲に入ってきた。しかしそれ以上の営業速度をめざすには，よりいっそうの研究開発を進めなければならない。

環境にやさしく，しかも安定した新幹線の高速化を実現するには，多くの技術的問題を解決していくことが必要である。そこで鉄道総合技術研究所では，低騒音で魅力(みりょく)的な次世代の超高速新幹線をめざした研究開発プロジェクト「ATLAS 計画」を推進している。

ATLAS 計画では，車両試験台での最高時速を 500 キロ，本線で技術的に可能な試験最高時速 450 キロをめざす。時速 350 キロ以上で走行しているときに 1 秒あたり時速 1 キロ以上の加速・減速ができ，10 ‰の上り勾配(こうばい)を時速 400 キロで連続運転できるものとする。騒音を時速 350 キロで環境基準の 75 デシベル以下(軌道中心から25メートルの標準点)におさえることにしている。

このような目標を達成するには，いろいろな

点で技術の壁を乗りこえていかなければならない。なかでも騒音や振動を小さくするという環境との調和が最も重要で，しかもむずかしい課題である。新幹線の高速化にとって何が問題であり，ATLAS計画ではそれをどのように解決していこうとしているかについてのべてみよう。

騒音や振動をおさえる技術

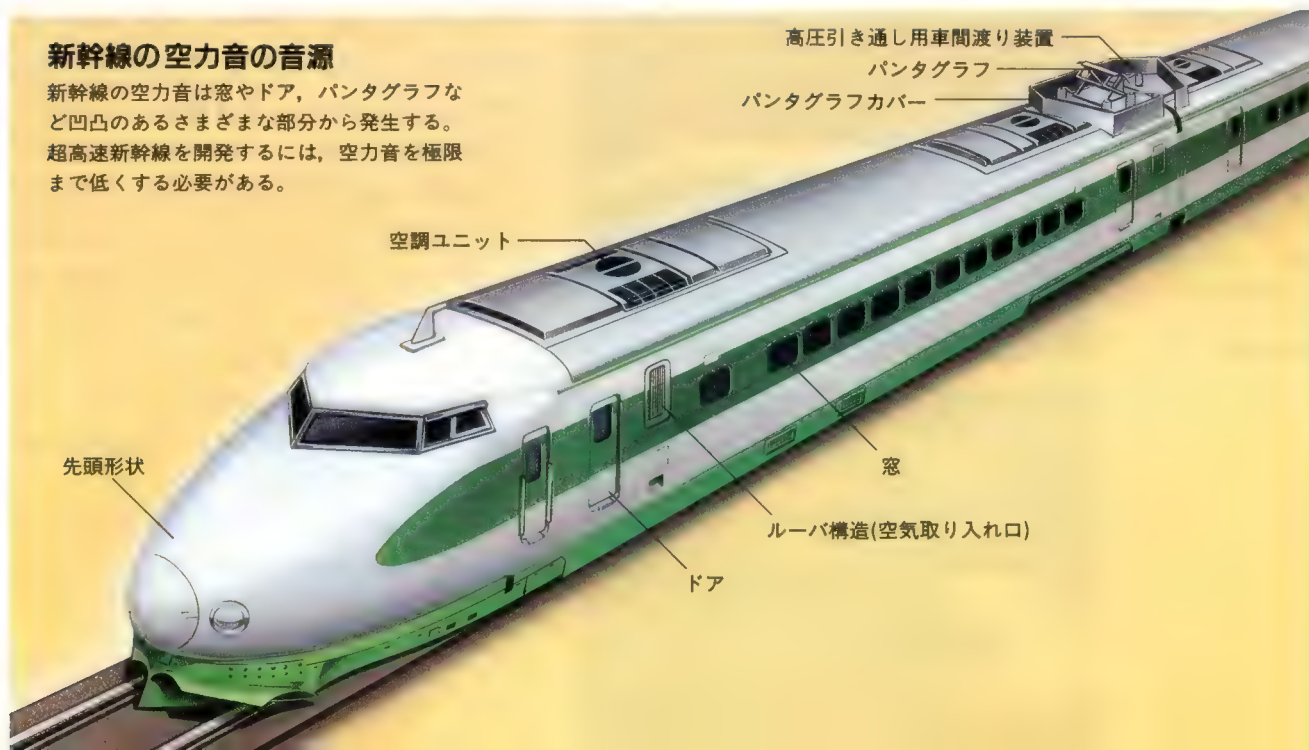
列車が高速で走行すると，どうしても騒音や振動が大きくなる。騒音には，車輪がレールの上をころがることによって出てくる音（転動音），列車の走行により高架橋などが振動して出る音(構造物音)，パンタグラフとトロリー線から発生する音(集電音)，さらに車両が空気を切るために出る音（空気力学的騒音〈空力音〉）などがある。

転動音を小さくするには，車輪やレールの表面にある細かな凹凸をできるだけ取り除き，車輪がレール上をころがるときの振動を小さくするのが効果的である。専用の車両を使い，定期的にグラインダー（研削装置）でレールの表面をけずったり，車輪を特殊なブロックでこすって細かな凹凸を取り除くようなくふうがこれまでなされてきた。これからはレールや車輪の振動をいっそう小さくし，また振動が音として伝わりにくくする研究が必要である。

構造物音が全体の騒音におよぼす影響は小さいが，それをさらに低くするには，車両を軽くすることが必要である。それは地盤を伝わる振動をおさえるのにも効果のあることがわかっており，車両の軽量化も重要である。

現在の列車は，パンタグラフのすり板がトロリー線と接することで車両に電気を取り入れている。そのためにはパンタグラフのすり板とトロリー線がつねに接触している必要がある。しかし列車の速度が上がり，トロリー線の振動が伝わる速さ（波動伝播速度）に近づくと，パンタグラフの前方にあるトロリー線が変形しにくくなり，すり板がトロリー線からはなれる現象（離線）が急激に顕著になる。するとスパーク音が大きくなるほか，電気駆動系に悪い影響をおよぼす。したがって高速時に離線をできるだけおさえるには，トロリー線の波動伝播速度を高くすることが必要である。

そのためにはトロリー線を軽くして，引っ張る力を大きくするのが効果的である。実用性をひとまず度外視すれば，限界速度を時速500キロまで向上できることがわかっている。ちなみに，TGVが時速515.3キロを達成したときの波動伝播速度は，時速560キロであったと推定されている。安定した高速運転を実現するには，トロリー線の寿命などを考えに入れながら波動伝播速度をいかに高くし，離線をおさえスパーク音の発生を防ぐかが課題となる。なおスパーク音は複数のパンタグラフを電気的につなぐことによっても軽減できることがわかっている。

新幹線の空力音の音源
新幹線の空力音は窓やドア，パンタグラフなど凹凸のあるさまざまな部分から発生する。超高速新幹線を開発するには，空力音を極限まで低くする必要がある。

騒音の中で，高速になるほど急激に大きくなるのが空力音である。この騒音は車両表面の凹凸が原因で発生するもので，まず最初に注目されたのはパンタグラフから出る空力音であった。これをおさえるために，パンタグラフに当たる空気の流速を小さくすることを目的に屋根の上にカバーを取りつける方法が考えられた。最近の高速車両ではすべてこれが採用されている。ただし高速になるとカバー自体からも音が発生するので，カバーの形を考えていくとともに，パンタグラフについても空力音の発生が小さいものを研究開発していかなければならない。ATLAS計画ではT字形の低空力音パンタグラフの開発に取り組んでいる。

空力音はパンタグラフ以外にも車体の各部から発生することが確かめられており，それぞれに対策が立てられてきた。しかし今後，超高速車両を実現するには，空力音を極限まで低くする技術を開発していかなければならない。風洞(ふうどう)実験やコンピューター・シミュレーションなどによる研究がますます重要となる。

列車が高速で長いトンネルに突入すると，トンネルの出口で衝撃音が発生することがある。これはトンネルの入り口で生じた空気の圧縮波が，トンネル内を伝わって出口で破裂音になるものである。これを防ぐには，トンネルの入り口にフードをつけて圧縮波を弱くする方法が効果的であり，実用化もなされている。しかし突入する列車が高速になるほどフードを長くしなければならないので，高速化に際してより経済的な方法を研究開発していくことが必要となる。

上は鉄道総研で開発中のT字形パンタグラフ。現在のパンタグラフの形を単純化することで，空力音を低減しようとするものである。下はパンタグラフカバーの実験のようす。空力音の音源であるパンタグラフに当たる空気の流速を小さくするようにくふうされる。

速度の限界を高める。

レールの上を車輪で走る方式の鉄道では，列車の駆動力とブレーキ力は，車輪とレールの間の摩擦(まさつ)力（粘着(ねんちゃく)力）によって生じる。列車の加速・減速はこの粘着力によって制限され，車輪／レール方式の速度の限界は，列車の走行抵抗と，粘着力の関係から決まる。

そこで走行抵抗，とくに速度が高くなるとともに増大する空気抵抗を低くするための研究開発が重要となる。空気抵抗は列車の形状や車両の表面状態によって影響される。風洞実験やコンピューター・シミュレーションにより列車編成としての空気抵抗を徹底的に小さくする研究が必要となる。これは省エネルギーにもつながり，環境保護にも役立つ。

粘着力は雨天時に高速になるほど低下するため，走行抵抗との関係から速度の限界が生じる。その結果これまで時速350キロが限界といわれてきた。しかしこの値は絶対的なものでない。最近では雨天時にレール面がぬれた状態での粘着力低下を防止する技術的可能性も出てきている。粘着力の面で最も条件がきびしいのは先頭車両の車輪である。新幹線電車のように各軸ごとにモーターのついた動力分散方式では，うしろの車両にいくほど水の影響は小さくなって粘着力も大きくなる。そこで滑った軸を最近の制御技術によってコントロールし，滑らない軸の粘着力を有効に使えば，列車全体としての粘着力はかなり高くなることがわかってきた。

走行抵抗の低減と制御技術を生かした粘着力の有効利用によって，最近ではレールがぬれているときでも，加速余力を残したうえで時速450キロ以上に限界速度が向上する可能性もあると考えられるようになった。なおTGVの時速515.3キロはレール面が乾燥状態のときに達成されたもので，晴天時であれば粘着力が最高速度を制約する条件にはならない。

これからは粘着力の向上と利用技術をさらに発展させ，自然条件にかかわらず安定して高速

「ATLAS計画」のイメージ図。ATLAS計画は，環境との調和をはかりつつ，低騒音で魅力的な次世代の超高速新幹線を実現するための基本的な技術の先端的な研究開発を推進しようというものである。

走行できるようにすることが課題であり，その実現の可能性は高い。

高速でも乗り心地をよくする。

車両が軌道上をなめらかに走るために，レールと車輪フランジ（車輪内側の突部（とつぶ））の間にはわずかなすき間がある。また曲線部での走行をなめらかにするために，車輪の踏面（とうめん）にはわずかな勾配をつけている。そのためある速度以上になると，台車が突然左右に振動しはじめる。これは「蛇行動（だこうどう）」といわれるものである。車両の安定走行という点から，この蛇行動が発生する速度で限界が決まる。これには車両や台車のさまざまな要素が影響する。最近ではコンピューター・シミュレーションが発達したおかげで高度な設計ができるようになった。その結果，曲線をうまく通過させながら，直線部での限界速度をかなり高くする台車が開発されている。台車をできるだけ軽くすることも必要で，これまで台車と車体の間にあった揺れ枕（ゆれまくら）（ボルスタ）をはぶいて軽量化した台車が開発され，最近のJR各社の高速台車として採用されている。

さらにATLAS計画では次世代の台車として，これまで台車に取りつけていたモーターを車体にのせ，ばね下・ばね間質量を大幅に軽減して，超高速でいっそう安定して走行できる台車の開発を進めている。この台車は，鉄道総研の車両試験装置で時速500キロでも安定して走行できることが確かめられている。

高速で車両のゆれを少なくして乗り心地をよくするには，軌道をできるだけまっすぐにしておく必要があるが，それにも限界がある。そこで車両のゆれをおさえるための軌道の整備基準を最適にする研究もたいせつであり，また乗った人がどう感じるかといった面から研究を進めることにも重点を置いている。

安全性の高い新幹線へ向けて

高速輸送機関としては，高い安全性が確保されていることが絶対的条件である。現在，新幹線は「ATC（自動列車制御装置）」によって，区間ごとに指示されている速度に自動的に減速するシステムを採用し，安全性はきわめて高い。ただしこのシステムでは区間ごとの速度指示のため，減速する場合には別の区間に入るごとにブレーキがかかる。そのため乗り心地の面や先行列車との間隔（かんかく）が長いといった問題点もある。

そこで現在「デジタルATC」という新しい方式を開発中である。これはレールを用いた軌道回路によってたくさんの情報をデジタルで送るもので，先行列車との間隔によって1回のブレーキで減速する。その結果，列車の頻度（ひんど）をふやして待ち時間を短くすることができ，また減速の際の乗り心地もよくなる。さらに安全性の点からはできるだけ早く止める技術も重要であり，ブレーキの性能を高める研究開発にも取り組んでいる。

将来の新幹線が実用上どこまで高速化できるかということに対して，はっきり答えを出すことはむずかしい。これまでのべた技術的課題に加えて，地形上さけられない曲線での速度の限界，消費エネルギーや保守の面からの経済的な限界もある。それらを考えに入れても，これからの研究開発によって21世紀に入るころまでには，時速350～400キロの実用最高速度の可能性はあると考えられている。

宇宙の不思議にせ

科学館データベース——天文・宇宙編

体験！サイエンスワールド

まる

協力 原 恵

夜空に輝く星を見上げ，宇宙に思いを寄せる人も多いことだろう。宇宙はわれわれにとって，遠くてなぞに満ちているところだ。しかし，その宇宙を身近に体験できる場所があることを知っているだろうか？　それが科学館なのだ。全国各地にある多くの科学館では，プラネタリウムや展示品を通じて宇宙に関するさまざまな疑問に答えてくれる。やがて訪れるであろう宇宙へ飛びだす日にそなえて，科学館で宇宙について楽しく学ぼう！

プラネタリウムがつくる星空ロマン

原　恵
青山学院大学教授

満天の星空を楽しもう。

近年全国的に，天文や宇宙関係の展示や設備をもつ博物館が非常にふえている。とくに地方自治体が，大規模な科学センターや子供向け科学館などを建てるのが一種の流行のようである。そこでは，プラネタリウムをそなえた大きなドームが施設の中心になっているところが多い。

だれもが知っているように，プラネタリウムは大きなドームの内面をスクリーンにして，そこに恒星をはじめ各惑星，太陽，月などの各種天体を映写する装置をすえつけたものである。プラネタリウムは今世紀初頭，ミュンヘンのドイツ科学博物館のミラーが着想し，ドイツの有名な精密光学機械メーカーのツァイス社が10年余りかかって開発した画期的な装置である。実際のとおりの天体の運行をみせ，肉眼でみえるすべての星々を，任意の地点での任意の日時の位置で映しだすことができる。

プラネタリウムでは，日本にいながらオーストラリアの夜空に輝く南十字星やマゼラン雲，天の川銀河の中心方向のみごとな星空をみることもできるし，今から4000年前のメソポタミアの星空がどんなだったかも映写できる。大気汚染や都市の光害のため星がみえにくくなった今では，ほんとうにうれしい設備である。たまに星がよくみえるところへ行くと，「まるでプラネタリウムみたい」という声が聞かれるが，これは本末転倒である。

さらにすばらしいのは，たとえば1492年10月12日，コロンブスがサンサルバドル島に上陸した夜の同地の星空や，その夜の惑星の位置をそのままに映写できる。実はこの機能がプラネタリウムの最もすぐれた点で，プラネタリウムという名前そのものが「プラネット（惑星）に関連する設備」という意味であることからもわかるだろう。

名古屋市科学館のプラネタリウム「ツァイスIV型」。1962年に設置された歴史のあるものである。機械の両端に大きな球をもつシルエットが特徴だ。

ツァイス社が最も苦心したのは，各惑星の相対的な位置とその運行を映しだす小さな投影機群である。これらは一連の歯車の組み合わせによって動き，惑星を正確に映しだすことが可能である。ほんとうの空では何年もかかって星座の星々の間をぬって動いていく惑星たちの経路を，時間を短縮して数分間で示すこともできる。

自動化が進むプラネタリウム

約70年前に発明されたツァイス式のプラネタリウムは非常に完成度の高い機械で，同社では1都市に1台しか売らない方針をもっている。第二次世界大戦後，まずアメリカが，次いで日本がその模倣機をつくりはじめ，現在では日本が最大のプラネタリウム生産国になっている。

最近，惑星運動の再現を歯車列によらずコンピューターによる方法が開発され，それに各種の付属投影機を加えてこれらをすべて自動的に動かし，解説の音声や音楽，音響効果を含んだソフトもメーカーがつくって供給するようになってきた。

解説者が話しながら手動で操作する在来型のプラネタリウムでは，当日の星や天文現象を解説し，観客の反応をみながら話の難易度を加減するなどきめ細かい解説ができる。一方，自動式のプラネタリウムでは，数か月ごとにソフトを入れかえる方法をとるのが普通で，専任の解説者がいなくても投影が可能である。自動式では，投影の時間枠の前半にドーム全体を使った映画（全天周映画）を組みこんだソフトが流行している。この種の機械では，座席を傾斜した床に並べて映像が見やすいようになっている。

プラネタリウムといっしょに，望遠鏡などの天体観測設備をそなえたところもしだいにふえている。プラネタリウムはやはり，本物の星の観察に結びつくように使用すべきだろう。

科学館は楽しい要素がいっぱい

ここでは比較的大規模な施設を中心に紹介する。施設によって投影プログラムの内容もさまざまである。また多くの科学館では，プラネタリウムのほかに太陽や月，惑星，銀河などの宇宙の構造などを解説したパネルや装置も展示している。

最先端の天文・宇宙科学の進歩を本や雑誌などで知り，プラネタリウムや展示品などを通じてそれを深めることはたいせつなことだ。しかしたんなる知識に終わらせないで，実物の天体の神秘を皆さんが自分自身の目で直接みて，新鮮なおどろきを感じてほしいものである。

◆紹介記事中の料金は，すべて個人の場合です。

横浜こども科学館

神奈川県横浜市磯子区洋光台5-2-1
☎045-832-1166

宇宙や科学にふれてみよう

●開館　9時30分～17時(平日)，9時～17時(日曜・祝日)(入館は16時まで)
●休館　毎週月曜日，祝日の翌日，年末年始
●料金　展示室 大人400円 小・中学生200円
展示室＋プラネタリウム 大人1000円 小・中学生500円 4歳以上300円
展示室＋全天周映画 大人1000円 小・中学生500円 4歳以上300円
展示室＋プラネタリウム＋全天周映画 大人1600円 小・中学生800円 4歳以上600円
●交通　JR洋光台駅下車

3階の「宇宙スポーツ室」。中央にあるのがジャイロハンター。

みどころガイド

宇宙の不思議を体験！

館の外観は，巨大な宇宙船をイメージしている。5階から地下2階まで，さまざまな装置を操作しながら，展示テーマである「宇宙と横浜」について体験学習することができる。

まずは5階まで一気に上がってみよう。5階は「宇宙船長室」である。宇宙船のキャプテンになった気分で，太陽望遠鏡がとらえた太陽の姿を観察したり，光や電波などについていろいろな実験を行う。3Dコンピューター・グラフィックスによる宇宙旅行を疑似体験できるコーナーもある。

3階は「宇宙スポーツ室」で，ここでは宇宙飛行士になるためのトレーニングを行う。ジャンプ力や敏しょう性を測定したり，月面重力でのジャンプが体験できる月面シミュレーターや，ジャイロの原理がわかるジャイロハンターなど，体を動かしながら宇宙を体験することができる。

各階にはガイドの人たちがいて，装置の使い方やいろいろな質問にも答えてくれる。

迫力の宇宙劇場

1階にある「宇宙劇場」は，ドームの直径が23メートルある。コンピューター制御のプラネタリウムが約2万5000個の星々を映しだす。投影プログラムは季節ごとに変更される。4月11日までは「マゼラン探査機，金星を探る」が投影されている。

ドームいっぱいに映しだされる全天周映画では，臨場感あふれる音と映像の世界が体験できる。3月31日までは環太平洋火山帯を取り上げた映画が上映されている。

天文博物館 五島プラネタリウム

東京都渋谷区渋谷2-21-12 東急文化会館8階
☎03-3407-7409・7509

多彩なプログラムで星の世界を満喫しよう

●開館　11時～19時 ※ただし投影の最終回は18時
●休館　毎週月曜日(祝日の場合は翌日)
●料金　大人(高校生以上)700円 小・中学生400円 幼児(4歳以上)300円
●交通　JR渋谷駅下車

入館者の年齢層に合わせた解説で，星を観賞する楽しみを存分に味わえる。

みどころガイド

多彩なプログラムの数々

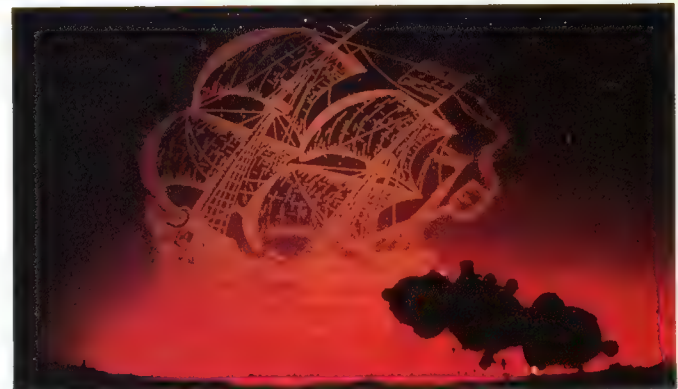
五島プラネタリウムは1957年4月に開館した。入館者の年齢層に合わせた解説で，星を観賞する楽しみを存分に味わうことができる。

隕石コーナーには世界各地で発見された隕石の数々が並ぶ。

一般投影は小学校4年生以上から大人までが対象で，毎月テーマをかえて最新の天文情報を提供している。

プログラムの設定は非常にきめ細かい。学校団体の見学用として，各学年のカリキュラムに沿った解説が用意されているほか，幼児向けに「七夕(たなばた)アワー」「お月見アワー」なども準備されている。小学校低学年向けでは「親と子のやさしい天文教室」，大人向けでは，星空の下で音楽を楽しめる「星と音楽の夕べ」などがある。

マゼランの最新映像をみよう。

1～2月の一般投影のテーマは「素顔の金星にせまる―探査機マゼランの成果―」である。星空の星の動きに対する金星の動きはもちろん，マゼランのとらえた最新の映像をみることができる。ただし投影機の整備のため，1月11日～2月13日までは休館となるので注意してほしい。

展示はプラネタリウムのドームを取り囲むスペースで行われている。江戸時代の天文資料をはじめとして，南宋(なんそう)天文図などの古星図が展示されている。世界の隕石(いんせき)コーナーや，四季の星々がみられるジオラマコーナーなどもある。屋上に設置されたシーロスタット望遠鏡が，その日の太陽のようすをスクリーンに映しだしているのも楽しい。最新の天文情報を知らせる天文ニュースコーナーもあるので立ち寄ってみよう。

つくばエキスポセンター

茨城県つくば市吾妻2-9 ☎0298-58-1100

宇宙飛行士の気分が満喫できる

●開館　10時～17時
●休館　毎週月曜日(祝日の場合は除く),年末年始
●料金　展示室 大人500円 小人(4歳以上18歳未満)250円
　　　　コズミックホール 大人700円 小人350円
　　　　セット券 大人1100円 小人550円
●交通　JR荒川沖駅または土浦駅よりバス,JR東京駅より高速バス

つくばエキスポセンターの全景。右側にみえるのがH-IIロケットの実物大模型。

みどころガイド

筑丸君がお出むかえ

エキスポセンターの玄関を入ると,まずは“テクノ筑丸”君が出むかえてくれる。筑丸君は会話ができる人気者のロボットだ。

入り口で出むかえるテクノ筑丸君

エキスポセンターは五つのゾーンに分かれている。世界最大級の直径25.6メートルの半球形ドームをもつ「コズミックホール」では,最新型のプラネタリウムがたくさんの星々を映しだし,まるで宇宙空間にいるかのような臨場感を味わうことができる。投影プログラムは四季おりおりの星物語で,季節によってかわる。

宇宙飛行士になろう。

宇宙飛行士になるための訓練を体験できるのが「アストロキャンプ」だ。ここには,地上8メートルから落下することで疑似無重力状態が体験できる1人乗りのカプセル“アストロボール”や,宇宙空間での作業の訓練装置である“MMU(船外活動機)”などの装置があり,実際に動かすことができる。

本館にある「こどもパーク」では,素粒子の世界を探検できる乗り物“アトム号”,「サイエンスフォーラム」では,双方向通信テレビを使ったクイズなどが楽しめるほか,宇宙ステーション開発のようすを模型やVTRで紹介しているコーナーもある。

屋外の「トマト館」では,1株から1万個もの実をつけるトマトが,水気耕栽培によって育てられている。日本で開発が進められているH-IIロケットの実物大模型も展示されている。

明石市立天文科学館

兵庫県明石市人丸町2-6 ☎078-911-5826

時と宇宙の博士になれる

●開館　9時30分～17時(入館は16時30分まで)
●休館　毎週月曜日(祝日の場合は除く),第2火曜日,年末年始
●料金　大人400円 中・高校生250円 小人200円
●交通　JR明石駅または山陽電鉄人丸前駅下車

高さ54メートルの塔が,日本標準時子午線の標識となっている。

みどころガイド

日本標準時を示す塔

明石市立天文科学館は,日本標準時の基準となっている東経135度の子午線上に建てられている。高さ54メートルの塔が,そのまま日本標準時子午線の通過地点を示す標識となっている。

3階に展示されている世界時計

この塔には直径6.2メートルの大時計があり,郵政省通信総合研究所から発信されるJJY時報を受信して,いつも正確な時刻を示している。

時と宇宙がテーマ

館のメインはプラネタリウムである。ドイツのツァイス社製の機械で,日没から日の出までの星空の移りかわりや,四季の星空のほか,さまざまな天体現象を映しだすことができる。

プログラムは毎月かわり,解説員がなまの音声で宇宙のトピックスについて解説を行っている。1月の投影テーマは「'96年火星の旅」で,日本の火星探査計画について取り上げる。

展示では,時に関するものと天文に関するものの二つが大きなテーマとなっている。

時に関することでは,時刻の決め方や時報について解説しており,世界標準時のパネルなどが展示されている。一方,天文では太陽系や銀河系についての解説装置や写真,月世界のジオラマ,ロケットや人工衛星の模型などが展示されている。

16階の天体観望室には口径15センチの屈折望遠鏡が設置されており,星空の観望会が定期的に行われている。

サンシャインプラネタリウム

東京都豊島区東池袋3-1-3
サンシャインシティ・ワールドインポートマート10階
☎03-3989-3466

スペースファンタジーを楽しもう

●開館　10時～17時30分
●休館　番組変更時に1週間ほど休館 ※1月18日から3月6日(予定)まで，新型のプラネタリウムを導入するため臨時休館
●料金　大人800円 子供(4歳以上小学生まで)500円
●交通　JR池袋駅または地下鉄有楽町線東池袋駅下車

みどころガイド

宇宙への入り口はすぐそこに

サンシャインプラネタリウムの投影プログラムは，SF小説を映像化したり，寄席風に星空を解説するなど，ユニークなものが多い。

毎月開かれている天体観望会

この冬はニュートン生誕350年を記念して，「未知の惑星を求めて」というプログラムが投影される。これは「万有引力の法則」を使って太陽系のはずれの海王星を発見するというストーリーである。バックにはホルストの組曲『惑星』が流れ，ファンタスティックな雰囲気も満点だ。

この一般投影のほかに，特別投影として，当日の夜空を中心に，星空にまつわるギリシア神話を語る「星空散歩」(月～金曜17時30分の回のみ）もある。

ロビーには数多くの隕石が展示されている。隕石の多くが南極にある，ということから，南極のプログラムも企画中。

投影機はこの春に新しいものにかわる。

プラネタリウム館は直径17メートルのドームで，メインの投影機のほかに100数十台の補助投影機が周辺に配置されている。ドームの全面に16個のスピーカーが配置され，音響も迫力十分だ。

東京の星空をみよう。

サンシャインプラネタリウムでは，月に1回天体観望会を開催している。ふだん星に接する機会のない都会の人々に，月や惑星を自分の目でみてもらおうというのがねらい。口径10センチの望遠鏡でみる月面のようすは圧感だ。なお，特別のイベントとして不定期に天体写真の撮り方を指導する教室や講演会，望遠鏡などを販売するノミの市も開かれている。

大阪市立科学館

大阪市北区中之島4-2-1 ☎06-444-5656

みてさわって遊んで楽しめる“夢空間”

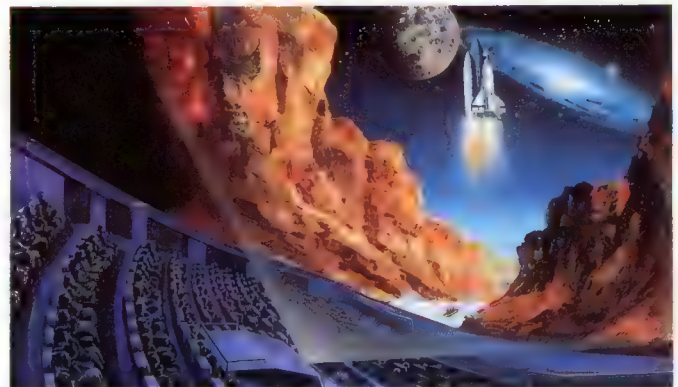
●開館　9時30分～16時45分(入館は16時まで)
●休館　月曜日(祝日の場合は開館)，祝日の翌日(土・日・祝日の場合は開館)，年末年始
●料金　展示室 大人400円 高校・大学生300円 小学・中学生200円
プラネタリウム 大人600円 高校・大学生450円 小・中学生300円
オムニマックス 大人600円 高校・大学生450円 小・中学生300円
●交通　JR大阪環状線福島駅下車

みどころガイド

迫力満点のオムニマックス

館内の展示にもさまざまなくふうがこらされているが，ここの売りものは直径26.5メートルという世界最大級のドームスクリーンである。この巨大なドームスクリーンでみるオムニマックス（全天周映画）やプラネタリウムは迫力満点である。

エネルギーの利用について知る。

とくに紹介しておきたいのは，4月29日まで上映されているオムニマックス「南極大陸」である。この映画（上映時間35分）にはオムニマックスならではの迫力シーンが数多くもりこまれており，氷が移動する際につくった大きな裂け目や，空撮によるダイナミックな映像が楽しめる。

半球状のドームスクリーンには迫力満点の映像が映しだされる。

プラネタリウムでは約2万8000個の星の世界にひたることができる。高性能の投影機によって，たとえば火星からみられる星空などをみることもできる。

宇宙とエネルギーの未来

館内の展示は，21世紀のキーワードとなる「宇宙」と「エネルギー」にスポットをあてた夢のある空間となっている。4階の宇宙コーナーでは，映像と模型によって宇宙ステーションやスペースコロニーへと進展する宇宙開発の夢が語られる。2階では，科学技術の進展でかわる未来の暮らしをパノラマ模型でみることができる。3階の科学プラザでは，専門スタッフが身近な科学現象について実験をしながら説明してくれる。

名古屋市科学館

愛知県名古屋市中区栄2-17-1(白川公園内)
☎052-201-4486

望遠鏡をのぞいてみたら……

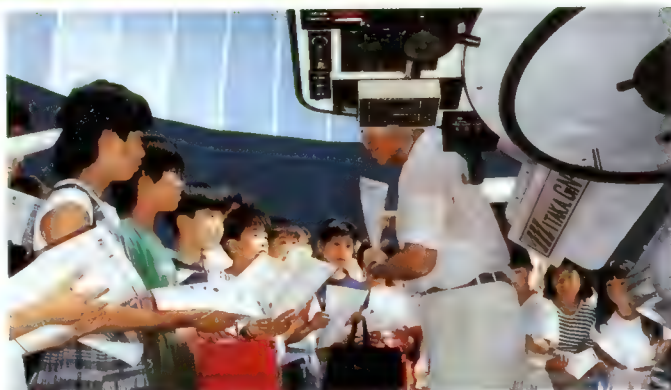
●開館　9時30分～17時(入館は16時30分まで)
●休館　毎週月曜日(祝日の場合は翌日)，毎月第3金曜日，年末年始
●料金　展示室 大人250円 小人(小・中学生)100円
展示室+プラネタリウム 大人500円 小人200円
●交通　地下鉄東山線・鶴舞線伏見駅下車

みどころガイド

観望会で人気のジャンボ望遠鏡

歴史のあるプラネタリウム

名古屋市科学館の理工館屋上には，口径65センチの大きな反射望遠鏡が置かれている。これは，超高感度VTR撮影装置や天体画像処理装置などの機能をもっている。

ジャンボ望遠鏡で火星や土星をのぞいたあと，天文館で望遠鏡の歴史をひもといてみよう。そこにはガリレオやニュートン，ハーシェルのつくった望遠鏡が並んでいる。レンズのかわりに鏡を使ったニュートン式反射望遠鏡は，現在も反射望遠鏡の最も一般的な形として使われている。

ここのプラネタリウムの歴史は古い。機械はドイツのツァイス社製で，1962年に設置された歴史のあるものだ。直径20メートルのドームいっぱいに星空を投影する。宇宙の不思議や天体観測，星座の伝説やさがし方などさまざまな話題について，観客が楽しみながら学べるように専門の学芸員が臨場感あふれる解説をしており，なかなか好評である。

直径20メートルのドームいっぱいに星を映しだすプラネタリウム

集まれ天文学者の卵たち

名古屋市科学館では，天文クラブを組織している。年5回機関紙を発行しているほか，天文講演会や観望会などの活動を行っている。高校生以上のために，研修会や観望会などでボランティアとして協力する天文指導者の養成講座も開かれている。

国立科学博物館

明治はじめに輸入された望遠鏡がみられる

東京都台東区上野公園7-20　☎03-3822-0111

●開館　9時～16時30分(入館は16時まで)
●休館　毎週月曜日(日・月曜日が祝日の場合は翌火曜日)
●料金　一般・大学生400円 小・中・高校生70円
●交通　JR上野駅下車

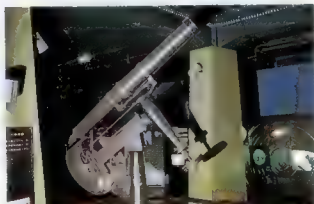
みどころガイド

天体観測の歴史をみよう。

国立科学博物館では自然史関係の数多くの展示を行っているが，本館3階で宇宙・天文に関係したユニークな展示が行われていることは意外に知られていない。

その一つが明治のはじめにイギリスから日本に輸入された，口径20センチ屈折望遠鏡の実物展示である。この望遠鏡は東京天文台で長年にわたって実際に使われていたものである。

明治はじめに輸入された口径20センチ屈折望遠鏡

直径116センチ，実物の300万分の1の精密月球儀(げっきゅうぎ)もあり，地球からはみえない月の裏側のクレーターの凹凸(おうとつ)を知ることができる。1909年7月24日の早朝，岐阜県美濃(みの)市近くに落下した隕石の破片もある。地理模型の落下地点の上に実物の標本が並べてあるので，破片分布のようすがよくわかる。

PICK UP　惑星探査機からみた星空も再現―宇宙型プラネタリウムの登場

ツァイス社製のプラネタリウムは，機械の両端に巨大な球がついており，それぞれ北半球と南半球の空を映しだす。この二つの球の間に，太陽や月，肉眼でみえる惑星の投影機がある。しかし最近のプラネタリウムをみると，機械の形がだいぶかわっていることに気づくだろう。

星を映す球が一つだけなのが「インフィニウム」である。惑星投影機が分離され，すべてコンピューター制御で動く。これまでのプラネタリウムでは地球上からみた星空を投影していたが，インフィニウムでは飛行する惑星探査機や太陽系のどの惑星からみた星空でも映せる。過去や未来の星空も瞬時に映しだせる。

新しいプラネタリウムの登場により，大宇宙のロマンがいっそう身近に感じられるようになった。

「インフィニウム-γ」(ミノルタ製)。球形をした恒星投映機の手前に惑星投映機が並べられている。

みどころガイド 10

札幌市青少年科学館
北海道札幌市厚別区厚別中央1条5丁目　☎011-892-5001
●開館　9時30分～16時30分（入館は16時まで）
●休館　毎週月曜日，毎月最終火曜日，祝日の翌日，年末年始
●料金　展示室 大人600円 子供(3歳以上中学生まで)200円
　　　　プラネタリウム 大人450円 子供130円
●交通　地下鉄東西線新さっぽろ駅またはJR新札幌駅下車
みどころ／プラネタリウムのドームの直径は，道内最大規模の18メートル。9000個の恒星が輝き，限りない宇宙のドラマを体験することができる。屋上には口径60センチの反射望遠鏡を設置した天文台が併設されているほか，移動天文車が市内各地で星空の観望会を行っている。

仙台市こども宇宙館
宮城県仙台市泉区七北田字二本柳104　☎022-373-0999
●開館　9時～16時45分（入館は16時まで）
●休館　毎週月曜日（祝日の場合は翌日），祝日の翌日，毎月末日，年末年始　※祝日の翌日，毎月末日が日曜の場合を除く
●料金　一般・大学生500円 高校生300円 小・中学生200円
●交通　市営地下鉄八乙女駅よりバス
みどころ／展示は参加体験型の装置となっている。電波望遠鏡がとらえた宇宙からの音を聞いたり，月面でジャンプしたときの感覚などを体験できる。宇宙船内のトイレや寝袋なども展示されている。宇宙劇場では，プラネタリウムや全天周映画をみることができる。

栃木県子ども総合科学館
栃木県宇都宮市西川田町567　☎0286-59-5555
●開館　9時30分～16時30分（入館は16時まで）
●休館　毎週月曜日，毎月第4木曜日（いずれも祝日の場合を除く），祝日の翌日（土曜・日曜の場合を除く），年末年始
●料金　展示室 大人500円 小人(4歳以上中学生まで)200円
　　　　プラネタリウム 大人200円 小人100円
●交通　東武宇都宮線西川田駅またはJR宇都宮駅よりバス
みどころ／展示室「宇宙の科学」のコーナーでは，宇宙誕生から現在までの過程や太陽系の各惑星の姿がわかりやすく解説されている。屋外にはH-IIロケットの実物大模型がある。プラネタリウムや天文台もある。

浦和市青少年宇宙科学館
埼玉県浦和市駒場2-3-45　☎048-881-1515
●開館　9時～17時
●休館　毎週月曜日（祝日の場合は翌日），年末年始
●料金　展示室 無料
　　　　プラネタリウム 大人500円 小人(4歳以上高校生まで)200円
●交通　JR浦和駅または北浦和駅よりバス
みどころ／展示室「宇宙広場」では，さまざまな装置や映像によって身近な月や太陽，四季の星座から大宇宙の構造まで，宇宙に関するあらゆることが紹介されている。ドーム直径23メートルの宇宙劇場では，プラネタリウムと全天周映画をみることができる。天文台もある。

葛飾区郷土と天文の博物館
東京都葛飾区白鳥3-25-1　☎03-3838-1101
●開館　9時～21時（平日），9時～17時（日曜・祝日）
●休館　毎週月曜日（祝日を除く），第2・第4火曜日（祝日の場合は翌日）
●料金　展示室 大人100円 小・中学生50円
　　　　プラネタリウム 大人300円 小・中学生100円 幼児50円
　　　　全天周映画 大人300円 小・中学生100円 幼児50円
●交通　京成上野線お花茶屋駅下車，JR線亀有駅または新小岩駅よりバス
みどころ／展示室3階が天文のフロア。天文学の発達史や天体のメカニズムなどがコンパクトにまとめられている。最新型のプラネタリウムや口径25センチの屈折クーデ望遠鏡をそなえた天体観測室もある。

新潟県立自然科学館
新潟県新潟市女池字蓮潟東2010-15　☎025-283-3331
●開館　9時30分～16時30分（入館は16時まで）
●休館　毎週月曜日（祝日の場合は翌日），年末年始
●料金　展示室 大人500円 小・中学生300円
　　　　展示室＋プラネタリウム 大人700円 小・中学生400円
●交通　JR新潟駅よりバス
みどころ／「宇宙からのメッセージ」と名づけられた宇宙船の形をした展示室の中に，隕石や望遠鏡でとらえた月や惑星，太陽の画像を映すモニター，地表に降り注ぐ宇宙線を観測できる大型の霧箱などがある。プラネタリウムや口径60センチの反射望遠鏡をそなえた天文台もある。

浜松科学館
静岡県浜松市北寺島町256-3　☎0534-54-0178
●開館　9時30分～17時
●休館　毎週月曜日（祝日の場合は翌日），祝日の翌日，年末年始
●料金　展示室 大人500円 高校生350円 小・中学生200円
　　　　展示室＋プラネタリウム 大人800円 高校生500円 小・中学生300円 幼児(3歳以上)100円
●交通　JR浜松駅下車
みどころ／フロアの中心に太陽があり，全体が太陽系という構成になっている。スペースシャトルの着陸管制シミュレーション，ケプラー運動のモデル，エアーロケットなどの展示がある。プラネタリウムもある。

広島市こども文化科学館
広島県広島市中区基町5-83　☎082-222-5346
●開館　9時～17時
●休館　毎週月曜日，祝日の翌日，8月6日，年末年始
●料金　展示室 無料
　　　　プラネタリウム 大人410円 小・中・高校生200円
●交通　市電原爆ドーム前駅下車
みどころ／展示室「天文の科学」のコーナーでは，月の動きや星座の学習ができ，口径15センチの太陽望遠鏡がとらえた太陽の黒点やプロミネンスもみることができる。プラネタリウムはドーム直径が20メートルで，一般投影では季節ごとにテーマがかわる。

福岡県青少年科学館
福岡県久留米市東櫛原町1713　☎0942-37-5566
●開館　9時30分～16時30分（入館は16時まで）（平日），9時30分～17時（入館は16時30分まで）（日曜・祝日）
●休館　毎週月曜日（祝日の場合は翌日），毎月最終火曜日（祝日の場合を除く），年末年始
●料金　展示室 一般400円 児童・生徒(4歳以上高校生まで)200円
　　　　プラネタリウム 一般600円 児童・生徒300円
●交通　西鉄久留米駅下車，JR久留米駅よりバス
みどころ／展示室では宇宙飛行士としての適性を調べるテストができる。コスモシアターでは，プラネタリウムと全天周映画が楽しめる。

鹿児島市立科学館
鹿児島県鹿児島市鴨池2-31-18　☎0992-50-8511
●開館　9時30分～18時（入館は17時30分まで）
●休館　毎週火曜日（祝日の場合は翌日），年末年始
●料金　展示室 大人400円 小人(小・中学生)150円
　　　　宇宙劇場 大人500円 小人200円
●交通　JR郡元駅下車，JR西鹿児島駅より市電か市バス
みどころ／展示室「宇宙」のコーナーには，液体ロケットエンジンの実物や，人工衛星「ぎんが」「すいせい」の実物モデル，宇宙旅行を疑似体験できる宇宙船操縦室などがある。宇宙劇場は直径23メートルのドームをもち，プラネタリウムや全天周映画で宇宙の神秘が体感できる。

料金はすべて個人の場合

オジロワシ

海鷲の一年がはじまる

厳寒のオホーツク海。道東におし寄せる流氷群の先端に巨大な翼をもつウミワシがたたずむ。
世界最大の越冬地に，オジロワシの生活を追った。

竹田津 実

海が眠くなるとオジロがくる。

1月中旬，オホーツクの海を流氷がおおいはじめる。2か月も前に，北緯55度線上の西端にあるシャンタル諸島のまわりで凍りはじめた氷が，北海道の沿岸までゆっくりと南下してきたのである。温度はぐんと低くなり，夜の間に海面上に小さな氷ができる。結晶が波にもまれ，直径1～2センチメートルの氷晶の集まりとなる。海は粘っこくなり，波の音が消える。

人々は海が眠りはじめたという。そうしてそのころ，上空をゆうゆうと飛ぶオジロワシやオオワシの姿が，みられるようになるのである。

この2種のウミワシは，流氷とともにやってくる。流氷塊が多くのプランクトンを運んでくるので，その先端に魚たちが集まり，それをねらって鳥たちも群れるのだといわれる。上空を飛んでみれば，南下する流氷群の先端に点々と止まるウミワシの一団が観察できるだろう。直径が20メートルをこえる氷塊ともなると，りっぱな乗り物だ。体重5～6キロという大型のワシの止まり木としても十分である。

オジロワシのつがい。体長は70センチから1メートルたらず，翼を広げると2～2.4メートルにもなる大きな猛禽である。雄も雌も同じ色の羽毛で，一般に雌のほうが大きい。

世界最大の越冬地

北海道でみられるオジロワシは，その多くが渡り鳥である。その数は500とも700ともいわれている。

根北郷土研究会の呼びかけで行われた全国の合同調査報告書によれば，1986年1月15日には全国で130であった個体数が，同じ年の2月23日には701と大きく増した。これは流氷に深く関係している。1月15日には，流氷ははるかオホーツク海のかなたにあったが，2月23日にはオホーツク海を埋めつくし，一部は知床半島をまわって根室海峡まで流れこんでいる。知床自然センターの中川元氏による調査では，1991年1月15日，知床半島斜里側では7羽が観察されたが，2日後の1月17日には0となり，24日も28日も0であった。ところが2月4日になると4羽，12日には2羽，20日には18羽，23日には9羽が観察された。しかし3月6日にはまた0になったのである。流氷に合わせて移動をしているのだろう。

天候も調査の結果を左右する。風の強さや方向によって，オジロワシの休息する場所はまったくちがうし，吹雪であれば，日中であっても深い谷あいのねぐらの中に避難し，さっさと寝こんでしまうことさえある。

観察者の能力によっても，データの信頼性はちがってくる。とくにはるか沖合いの氷上に点在する幼鳥などは，かなりの器材を使っても，オジロワシかオオワシか，それとも別のワシなのか区別がつかない。

以上のような事情はあるが，日本において この東北海道沿岸がオジロワシ

湖上の狩り。食料が豊かで水鳥のたくさんいる湖が，オジロワシの生存と繁殖を支えている。獲物の多くはマガモやカモメなど水鳥だが，カラスをとらえることも多い。

とオオワシ，両ウミワシ類の最大の越冬地であることにかわりはない。とくに東部のとりわけ知床半島羅臼(らうす)側は，この種の世界最大の越冬地であるといわれる。ここではオオワシが2000羽，オジロワシは600羽をこえるという。

なぜここが越冬地として選ばれたのか。理由はいろいろあるだろうが，まず，根室海峡側が厳冬期のスケトウダラの一大漁場であることをあげたい。

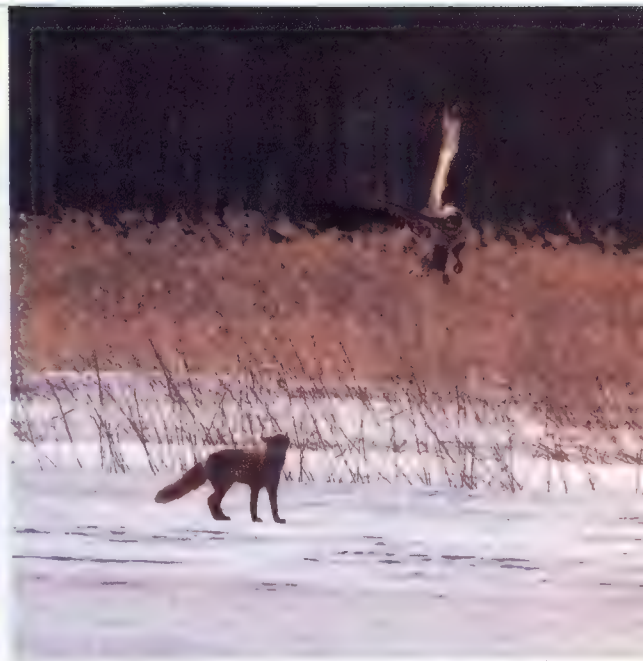
越冬するオジロワシたちにとって，このスケトウダラ刺網漁(さしあみりよう)でこぼれる魚が，重要な食料源だといわれている。前述の中川および田沢道広氏（知床国立公園羅臼ビジターセンター）の調査によると，ウミワシの総数とスケトウダラの漁獲量の間に明らかな相関関係がみられるという。1988年のセスナ機による調査（中川）でも，スケトウダラ漁の操業海域のワシ類の密度は，それ以外の海域の4.2倍であった。

だからといって，漁場の近くが恵まれた環境だとはいいきれない。流氷のために漁が長く休業すると，ワシの数はぐんと減ったという報告もある。おこぼれにありつけなくなったワシたちは，小さな漁港や湖の氷下漁の現場，はてはごみ捨て場へと散っていく。その結果，新聞紙上に「どこそこのごみ処理場にオジロワシが群れている」とか「ごみ漁(あさ)りをする天然記念物」とかいう活字がおどることになるのである。

春3月，流氷は強い南風におされて北へ去る。前後して海域のスケトウダラ漁も終わる。気がつくとワシの数はぐんと減り，成鳥をみることはめったになくなっている。すべて北の繁殖地をめざして帰っていったのである。

道産子のオジロワシたち

北海道にはもう一つ，別のタイプのオジロワシがいる。いわゆる留鳥，道産子(どさんこ)ともよべるグループである。現在はっきりしているだけで，北は稚内(わつかない)近くの湖からオホーツク海の沿岸，そし

樹上に休む群れ。越冬するオジロワシたちは，集団でねぐらをつくることがある。木々の芽吹きはまだ先のことだが，陽光には早春の予感がある。

湖面で出会ったキタキツネとオジロワシ。肉食動物どうしの競争はあっても，たがいに天敵というわけではないようだ。

て根室，釧路，十勝の沿岸部や湖沼地に，20 数つがいが生息している。

日本のオジロワシについて，本格的な調査が行われたのは戦後である。

1954 年，帯広畜産大学の芳賀良一氏が，網走市の郊外にある涛沸湖岸に近い，ミズナラ，ヤチダモなどの落葉広葉樹林でこの種の繁殖を確認した。これがわが国での繁殖の初認であった。根室半島の周辺でも数つがいの繁殖が確認された。つづいて若い研究者たちによって調査が行われたが，その数は予想をはるかに下まわっていた。

涛沸湖は周囲 31 キロ，面積 8.8 平方キロの汽水湖で，最深部 2.5 メートル，平均深度が 1.1 メートルと，きわめて浅い。2 月の水温は 1.0～1.5 度 C で湖はほとんど凍結する。8 月には 17.0～24 度 C である。丸満川，浦士別川など大小 6 本の川が，内陸部から注ぐ。

湖内はワカサギ，シジミガイおよびサケの放流実績があり，ボラ，コイ，フナ，カレイ，エビなども豊富である。こうした水生動物を食料として，鳥獣類もたくさん生息する。とくに水鳥類は，オホーツク海沿岸の湖沼群の中で

交尾。2月から3月にかけて，湖面の氷の上や樹上で行うのを観察したことがある。またどういうわけか，5月のなかばにヒナを育てているつがいが，巣のそばで交尾していたことがあった。

1～2位といわれる。

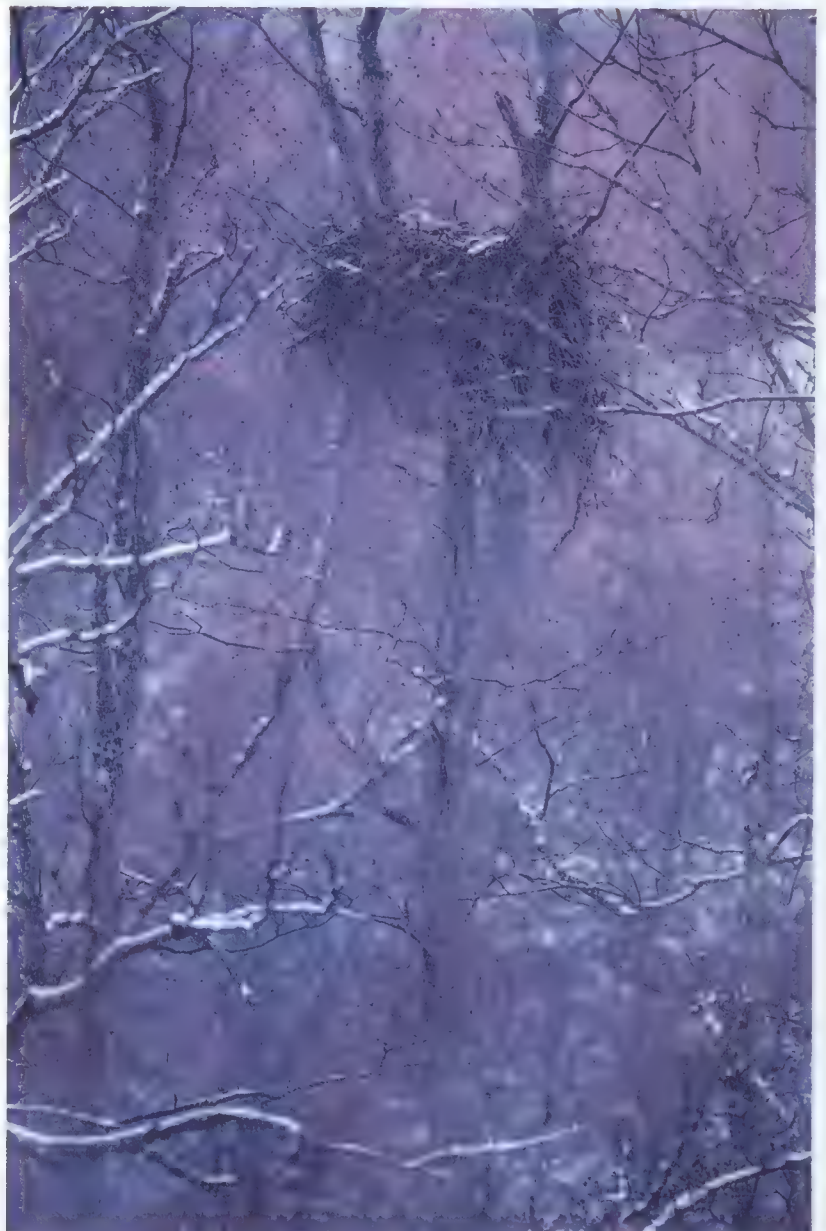
えさとなる魚類や鳥類とくに水鳥類の豊かさが，そのままこの大型の猛禽，オジロワシの生存と繁殖を約束する。

ここでは，1965年から私が調査をつづけた，この涛沸湖で繁殖をしている1組みのペアについて報告しよう。

その巣は，ミズナラの大木の地上9メートル余りのところにある。林の伐採や河川の補修など，環境の変化によって東北に1キロほど移動したことなどはあったが，おおむね1.2キロ以内の範囲であった。現在の巣は1979年以来同じ巣で，毎年のように巣材が補充されて大きくなっている。

厳寒の2月下旬，湖の一部が水面をのぞかせた湖上の氷の上で，交尾するのを観察した。3月中旬に巣の上でも観察した。5月中旬，ふ化後2週目のヒナがいるのに，巣の近くの樹上で何度も交尾していたこともあった。

卵は1～2卵で，色は白色である。雄と雌が交代で抱卵し，約35日後にふ化する。ヒナは真っ白な産毛に包まれていてかわいい。

子育てはつがいで行い，5週目をこえ

抱卵。ワシの仲間は，一つの巣を何年も使いつづけることが多い。毎年，巣材をつけ加えて，非常に大きな巣をつくることもしばしばである。

巣にたたずむ親子。用心深い彼らは大型の鳥，とくにカラスには神経質に反応する。人間に対しても油断することはない。観察にもとても気を使う。

留守番をするヒナ。しかし湖岸からも巣はよくみえる。巣に何者かが近づけば，親鳥はすぐに察知してもどってくる。

給餌。かなり大きくなるまでは，とってきた獲物を親鳥が食いちぎってヒナにあたえる。巣を包む北の森の芽吹きは，まるで紅葉のように色あざやかだ。

狩りからもどってきた親鳥。「オジロワシ」の名のゆえんである真っ白な尾羽がよくみえる。真っ黒なヒナの羽毛も，やがて成鳥のものに生えかわるのだろう。

るまで，つねにどちらかが巣内にいた。この地方は5月でも降雪がある。雨の日や雪の日はとくに熱心に抱いていた。反対に南風が吹いて気温が上がり，直射日光が当たるときは，両翼を広げてヒナに日陰をつくってやった。

採餌は夜明けとともにはじまる。えさは風や雨，気温といった天候条件や，潮の干満などによってかなりばらつきがあった。多くが魚類で，とくにカレイの類が多い。ほかにフナ，コイ，アメアユ，ボラなどもある。鳥獣類はえさの総数の30％以下だった。鳥類の多くは水鳥である。毛をむしって運んでくるので，半数以上は種の判別ができなかったが，マガモやミコアイサ，バン，ウミネコ，ユリカモメ，それにシギ，チドリの類もとっていたようである。親鳥は運んだえさを細かく食いちぎって，ヒナにあたえる。直接の給餌は，かなり大きくなってもつづき，巣立ち直前まで行われたこともあった。

巣と湖で親子のコミュニケーション

6月になると，親鳥たちが2羽そろって採食に出かけることもあった。しかし巣内のヒナには，湖岸での両親の行動がみえているのだろう。残されたヒナのようすから，いつ親鳥がもどってくるか，だいたい予測ができた。反対に，親鳥たちがいないのをみはからって近づいても，親鳥は決まってすぐに帰ってくる。巣のある位置からは狩場である湖がみえる。ほかの営巣地でも同じことが確認された。これは逆に，狩場である湖からも巣をみることができるということである。巣と湖岸にははなれていても，ある種のコミュニケーションを親子でとっているらしい。

抱卵中からふ化後3週目まで，親鳥たちは近づく大型の鳥に敏感である。

青空を飛ぶ雄姿。北海道の沿岸部で越冬した彼らの多くは，春になるとさらに北の繁殖地へと渡っていくのである。

とくにカラスに対しては非常に神経質で，15分余りしつこく追いまわしていたこともあった。過去に何度か被害を受けたことがあるのかもしれない。

ところが樹下を通るキタキツネにはほとんど反応を示さず，近づくエゾリスにも知らん顔であった。巣は厚さが1メートル以上になっていたので，あるときなど，ニュウナイスズメが巣をつくって子育てをしたこともあったが，それにも反応を示さなかった。山菜取りで近づいてくる人間には，かなり遠くから反応を示し，200メートルの地点くらいで巣から飛び立ち，上空を旋回し，時には急降下して，カッカッカッカッと鋭い声を発しながら威嚇した。巣内をみようと近づくと，頭上すれすれの距離まで降下してくるので，すこぶるスリリングであった。

1シーズン（1980年5～7月）に1度だけ，別の雄のオジロワシが巣に近づいたことがあった。親鳥たちはカッカッカッと大きな声を上げ，湖をこえて海上に出るまで追いかけていった。

7月になると，羽毛の生えそろったヒナは，風が吹くたびに巣をあしでけって飛び上がり，翼をばたばたとさかんに動かした。風に乗ってしぜんと体が浮き，巣から落ちかけたこともある。飛翔の練習が日課となり，えさもほとんど自分でちぎって食べるようになった。巣立ちはいずれの年も7月下旬であった。巣立ちしたあとも，若鳥は夜になると巣の周辺で眠る。

9月，10月と湖の周辺で若鳥をみることがある。近くに成鳥もいる。かなり長い時間をかけて，採食の教育を受けているのかもしれない。11月中旬になると湖が凍結をはじめ，12月上旬にほぼ全面が凍りつく。そのころは湖口の周辺で，彼らの姿を毎日観察することができた。1月上旬，湖も凍結するころには，オホーツク海岸を東西に飛翔するのが観察され，湖口近くの防波堤の上でじっと止まり，海面をいつまでもみていることが多かった。

羽ばたけオジロワシ

今年もまもなく流氷シーズンをむかえる。上空をまたいつもの軍団が南下するのだろう。どのくらいの数になるか，むかえる者として心がおどる。

道産子のオジロワシの数は，なぜかふえたようにみえない。繁殖地が次々と広がったという情報もまだない。

オジロワシが天然記念物に指定されたのは1970年である。しかし一つの種を法律で保護するだけでは，うまくいくはずがない。それから22年，湖や湿原は，開発という名の下にどんどん消え去り，すみかとなる大木も，あっというまに姿を消した。河川がよごれ，遡行する魚影もめっきり少なくなっている。食も住も奪われて生きていく記念物。彼らがあわれだといって，何もできずにいる自分が腹立たしい。

星物語 太陽と惑星たち 火星

戦いを

原恵 青山学院大学教授

♂は火星をあらわす記号

網にとらえられた軍神アレースと女神アフロディーテを，神々はさんざんあざ笑った。

神々の笑い者にされたアレースの恋

古代の人々は，火星の赤い光から血や炎を連想し，戦いの神アレースの姿を想像した。アレースはギリシア神話の呼び名で，ローマ神話ではマルス，英語読みではマーズである。

アレースは大神ゼウスとその妻ヘラの間に生まれた。彼は猛々しい性格をもち，人間の世界に戦争をけしかけては，殺戮の場をみて喜んでいた。アレースには，恐怖の神デイモスと敗走の神フォボスという2人の息子がいた。彼は息子たちと妹の争いの女神エリスをしたがえ，いつも4頭立ての戦車に乗っていた。

このような性格のアレースは神々の間ではきらわれ者であったが，男性的な姿にひかれる女神たちも少なくなか

象徴する軍神，アレース

った。その中でも，美の女神アフロディーテ（ビーナス）はことのほかアレースに執心(しゅうしん)していた。また死者の国の王プルトーンは，アレースがおこす戦争のおかげで自分の国の人々がふえることを喜んでいた。

アレースは美しいアフロディーテを愛していた。彼はなんとかして彼女に近づきたいと，チャンスをねらっていた。しかし彼女には，鍛冶(かじ)の神ヘーパイストスという夫がいた。ヘーパイストスは足が不自由で，アレースにくらべるとあまりにも貧相(ひんそう)であった。アフロディーテがりりしいアレースにひかれたのは当然ともいえる。

このことを知った太陽神アポロンは，ヘーパイストスに告げ口した。おどろいたヘーパイストスは，怒りをおさえて自分の目で2人の仲を確かめようとした。彼は蜘蛛(くも)の糸のように細いすき通った糸で大きな網をつくり，妻のベッドのまわりにしきつめた。そして外出をよそおって出かけた。

アフロディーテは，さっそくアレースをむかえにやった。アレースは飛ぶようにやってきた。しかし彼女に近づこうとしたとたん，みえない網にとらえられてしまい，2人はどんなにもがいても網から抜けだすことはできなかった。ころあいをみて帰ってきたヘーパイストスは，このありさまをみて烈火のごとく怒り，オリンパスの神々に訴えでた。

集まってきた神々は，2人のこっけいな姿をみて大笑いをくりかえした。さんざんさらし者にされたあと，海の神ポセイドンの仲裁で，2人はやっと網から出してもらったという。

望遠鏡でみた最接近のころの火星

今月の火星はふたご座にみえる。

宵(よい)の東の空に向かうと，かなり高い位置に，明るく輝く赤い星がみつかる。これが火星である。その左上には，ふたご座の1等星ポルックスが輝く。火星はこれよりもずっと明るい。光度は右下方に輝くおおいぬ座のシリウスと同じくらいだが，火星はあまりまたたかないので，不気味な感じがする。

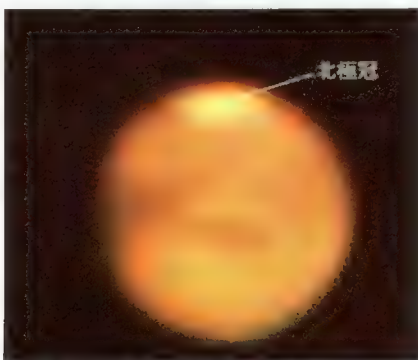
火星はいま地球に近づいている。今月3日には最接近し，地球からの距離は9366万キロメートルになる。そのため今月の火星は最も明るく，見かけの大きさも大きくなる。

火星は星座の間をぬって移動していく。1992年12月はじめから今年の1月

1993年はじめの火星

にかけては，ふたご座の中を東から西（左から右）へ向かっている。ポルックスに最も近づくのはクリスマスのころで，今月はじめにはポルックスとカストルの下にみえている。

月末には動きが鈍り，2月15日すぎには，方向をかえて逆に西から東へ移動するようになる。火星はその後黄道に沿って，ふたご座からかに座，しし座へと移動していく。地球からの距離はしだいに遠ざかっていくので，光度はしだいに暗くなっていく。

火星は平均して2年2か月ごとに地球に近づいてくる。地球の軌道がほぼ円形であるのに対して，火星の軌道は平たいだ円形をしているため，接近する場所によって距離が大きくかわる。今回の最接近は距離がはなれているけれども，口径15センチメートルぐらいの望遠鏡で観測すると，火星表面のもようを見分けることができるであろう。

発見前に小説に書かれた火星の衛星

火星の衛星フォボス。いびつなジャガイモのような形をしている。

火星には二つの衛星があり，フォボスとデイモス（英語読みではダイモス）という名がついている。これらの衛星が発見されたのは1877年であったが，その存在は100年以上も前に小説に書かれていた。

『ガリバー旅行記』の作者として知られるイギリスの作家ジョナサン・スイフトは，別の小説の中で大西洋のある島をえがいている。そこでは天文学が非常に発達していて，火星の2個の衛星をすでに発見しており，フォボスとデイモスと名づけられている，と書いている。フォボスとデイモスは，ギリシア神話の軍神アレースの息子たちである。

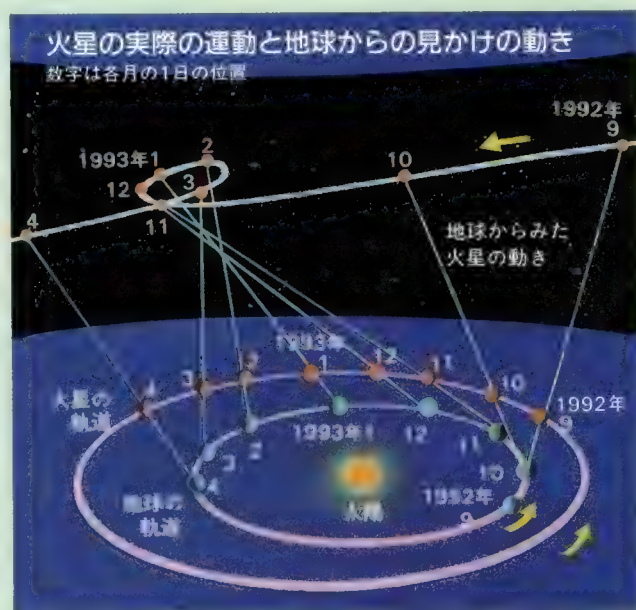
二つの衛星を実際に発見したのは，アメリカの海軍天文台であった。衛星の名前はスイフトの小説にちなんで，内側の軌道をまわる衛星をフォボス，外側の軌道をまわるほうをデイモスとしたのであった。

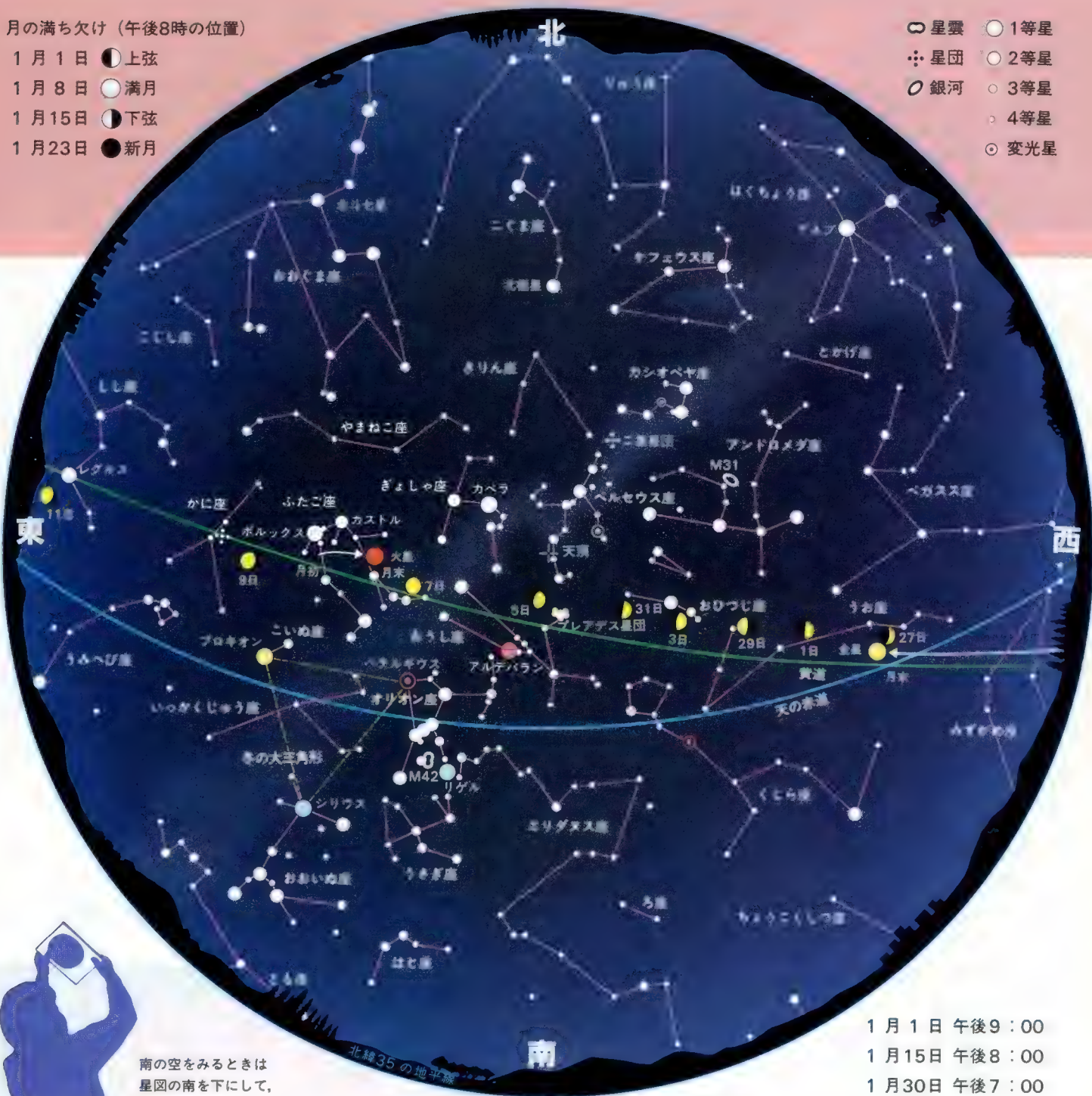
二つの衛星はどちらもきわめて小さく，フォボスの長径が28キロ，デイモスのそれは16キロしかない。その形はどちらも球形ではなく，不規則でクレーターが多く，ジャガイモのようである。

火星はなぜ不思議な動き方をするのだろうか？

夜空の星たちは，たがいの位置を変化させることなく，西から東へ規則正しく移動している。そのために「恒(つね)」，すなわちつねにかわらないという字をあてて「恒星(こうせい)」とよばれる。これに対して，惑星(わくせい)は星座の間をぬって動きまわっているようにみえる。1992年から今年にかけての火星は，西から東へ移動する「順行」から，東から西への「逆行」に転じ，ループをえがいてふたたび順行に移る。そのために「惑(まど)う」星という意味で「惑星」と名づけられている。

惑星はどうしてこのような不思議な動き方をするのだろうか。火星と地球はともに太陽を中心にした軌道をまわっている。二つを陸上競技の走者にたとえると，内側のトラックを走っている走者（地球）が，外側を走っている走者（火星）を追いかけ，追い抜いていくのに似ている。火星の軌道半径は地球のそれの約1.5倍である。したがって軌道上の公転速度は，地球の秒速約30キロに対して火星は約24キロとずっと遅く，地球はたえず火星を追いかけ，追い抜くことになる。

1992年秋から暮れにかけて，地球は火星を追いかけ，その距離をちぢめていた。地球からみると，この間の火星は順行をつづけており，その動きはしだいに

遅くなっていた。11月末には，火星は動きを止めたようにみえた。これを「留(りゅう)」といい，火星はそのあと方向をかえて逆行に転じた。

今年の1月8日，地球は火星を追い抜く（衝(しょう)）。その後，地球は火星からしだいにはなれていき，火星をうしろにしたがえるようになると，火星はふたたび留になる。そして2月下旬からは順行に転じ，西から東へ移動するようになる。そのため火星はふたご座の中でループをえがくようにみえるのである。

1月の星ごよみ

3日 **火星**が地球に最接近する。今回は接近距離が比較的大きいので，望遠鏡でみる視直径も最大にはならない。

4日 **りゅう座流星群**の出現が極大になる。夜明け前の北東の空で，平均して1時間に50個の流星が期待される。

20日 **金星**が太陽から東の方向に最もはなれる（東方最大離角）。宵の明星として，夕方の西天高く明るく輝いている。

21日 **大寒**。一年中で寒さが最もきびしい時期に入る。冬至と春分の間の3分の1のところにきている。

27日 月と金星が並ぶ。宵の西天で輝きをきそい合う。望遠鏡でみると金星は半月形をしている。

宇宙を計算しよう
地球から銀河宇宙へ――初級天文学入門
第3回

太陽の寿命を求めてみよう

祖父江義明
東京大学理学部教授

母なる星，太陽。太陽までの距離はどれくらいだろうか。レーダーによる金星観測と三角関数を使うと，それは約1億5000万キロと求まる。太陽と地球の距離は「1天文単位」とよばれ，天文学で重要な距離の単位である。この距離と「万有引力の法則」を使うと，太陽の質量が簡単に求まる。日射量の観測から太陽の寿命を求めることもできる。さらに，簡単な計算で「ケプラーの第三法則」をみちびき，太陽と惑星との距離を求めてみよう。

太陽までの距離を求めよう。

わが太陽系の母，太陽について，その距離，質量，密度，寿命などを推定してみよう。太陽までの距離を知るには太陽と惑星（わくせい）との位置関係を用いる。たとえば金星を用いる方法について考えよう。金星は地球と太陽の間にあって，太陽のまわりを地球よりも速い周期で公転している。地球からみて金星が太陽から最もはなれてみえるときの金星と太陽の角度を「最大離角（りかく）」という。金星の最大離角はおよそ46度である。

最大離角のとき，地球，太陽，金星は直角三角形をつくる。したがって金星までの距離を知ることができれば，太陽と地球の距離も簡単に求めることができる。さて金星までの距離はどうやってはかるのだろうか。月のときと同じように，電波のレーダーでパルスを当てて，その電波がはね返ってくる時間と，光速度 c を用いてそれを求める。レーダー観測によれば，最大離角のとき，電波が地球から金星まで届くのにおよそ5分45秒かかる。つまり金星までの距離 d は，光速 c は秒速30万キロだから，

$$d = (\text{秒速30万 km}) \times (5\text{分}45\text{秒})$$
$$= 3\times10^5\times345$$
$$= 1.035\times10^8 \ \text{km}$$

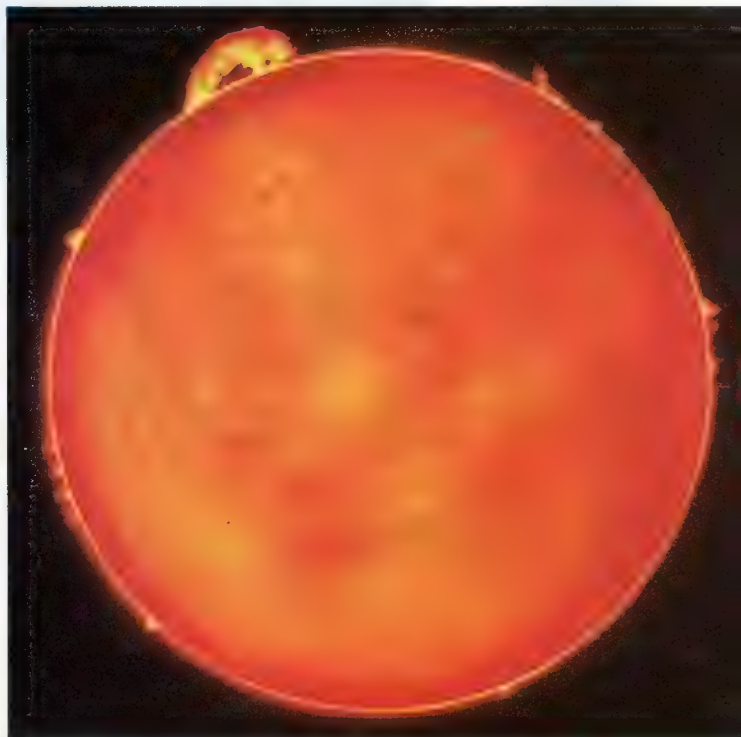
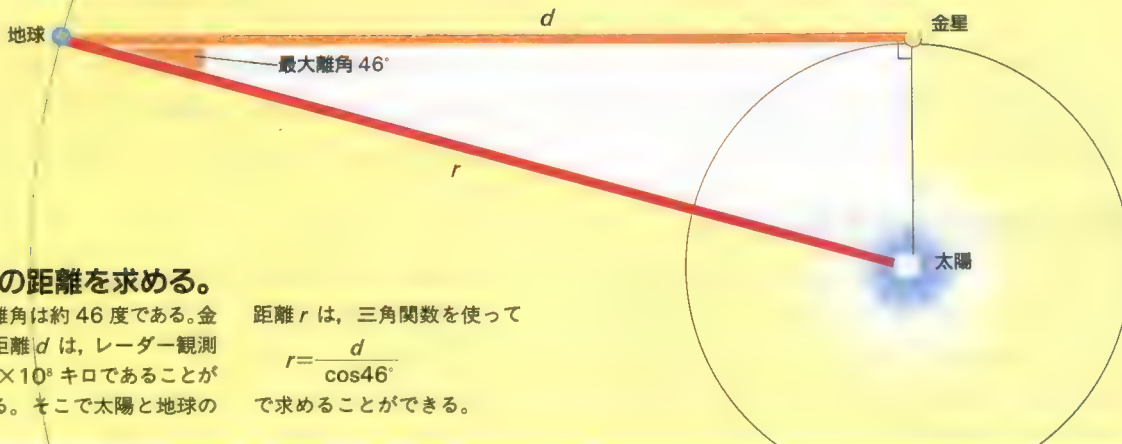
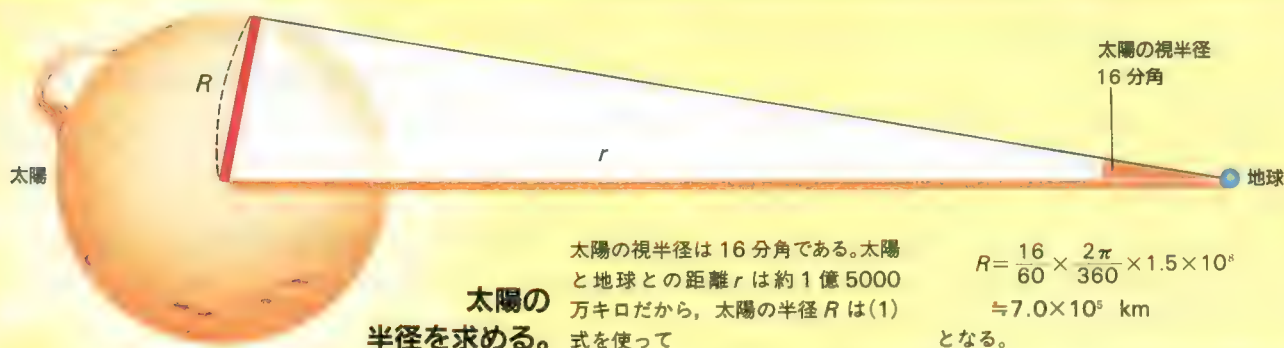
である。そこで地球と太陽の距離 r は三角関数を使って

$$r=\frac{d}{\cos46^\circ}$$

だから，三角関数表から $\cos46^\circ$ は0.719なので

$$r \fallingdotseq 1.5\times10^8 = 1\text{億}5000\text{万 km}$$

ということがわかる。

地球と太陽の距離は「1天文単位（1AU）」と定義され，

正確には 1 億 4960 万キロである。これは太陽から恒星(こうせい)や銀河の世界に乗りだす基礎となる最も重要な距離のユニットだ。シリーズ第 1 回でのべた宇宙の階段の第 1 段でもある。

太陽までの距離がわかったので，次に太陽の半径を求めよう。太陽の視半径は 16 分角である。半径が L の円の上にある a ラジアンの円弧の長さは

$$円弧 = a \times L \quad \cdots\cdots (1)$$

だったから，太陽の半径 R は 16 分角をラジアン換算して(1)式を使い

$$R \fallingdotseq \frac{16}{60} \times \frac{2\pi}{360} \times 1.5 \times 10^8$$

$$\fallingdotseq 7.0 \times 10^5 = 70 万 \text{ km}$$

となる。地球の半径は約 6370 キロだったから，太陽の半径は地球の約 110 倍という巨大さであることがわかる。

太陽の質量は地球33万個以上だ。

地球と太陽の距離がわかったので，太陽の質量を求めるのはいたって簡単だ。太陽の質量を $M_{\odot}$，太陽と地球の距離を r，地球の速度を v，重力定数を G とすると，「万有引力の法則」から

$$M_{\odot} = \frac{rv^2}{G} \quad \cdots\cdots (2)$$

である。地球の公転軌道速度 v は，地球が 1 年で太陽のまわりを 1 周することから，

$$v = \frac{2\pi r}{(1年)}$$

$$= \frac{2\pi \times 1.5 \times 10^8}{365 \times 24 \times 60 \times 60}$$

$$\fallingdotseq 30.0 \text{ km/s}$$

となる。地球は秒速 30 キロで太陽のまわりをまわっているのだ。そこで (2) 式を使うと

$$M_{\odot} = \frac{rv^2}{G}$$

$$= \frac{1.5 \times 10^8 \times 10^3 \times (30 \times 10^3)^2}{6.7 \times 10^{-11}}$$

$$\fallingdotseq 2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$$

となる。地球の質量は約 6×10^{24} キログラムだったから，太陽は地球 33 万個以上の質量をもつわけだ。

太陽の半径がわかり，質量がわかったので，その平均密度つまり太陽の比重を求めることができる。

$$太陽の比重 = M_{\odot} \div \frac{(4\pi R^3)}{3}$$

$$= \frac{2 \times 10^{30} \times 10^3 \times 3}{4\pi \times (7 \times 10^5 \times 10^3 \times 10^2)^3}$$

$$\fallingdotseq 1.4\ \mathrm{g/cm^3}$$

となる。もっともこれは太陽全体を平均した値で，中心部はもっと密度が高い。

日射量から太陽の寿命を求めよう。

太陽は水素をヘリウムに変換する核融合反応によってエネルギーを消費している。この反応によって太陽質量のおよそ1000分の1が最終的に消費される。つまり太陽質量の1000分の1が燃料である。燃料が出すエネルギーを私たちは毎日，日光という形で受け取っている。では太陽がエネルギーを使い果たす時間，つまり太陽の寿命はどれくらいだろうか。これは太陽が地球を照らす日射量を求めればわかる。

黒く塗ったたらいに水をはって1時間に上昇する温度をはかり，その熱量を1時間で割り，たらいの太陽に向いている面積で割ってやればよい。こうして求まる太陽の日射量は1平方メートルあたりおよそ1.38キロワットである。このエネルギーは地球に注がれるだけでなく，太陽から地球と同じ距離にあるところではどこでも同じである。つまり半径が1天文単位の球面では，どこでも1平方メートルあたり1.38キロワット相当のエネルギーが通過している。したがってこのエネルギーを合計した値が太陽のエネルギー消費量，すなわち光度 L に等しい。地球と太陽の距離を r とすると

$$L = 4\pi r^2 \times 1.38$$
$$= 4\pi \times (1.5\times10^8 \times 10^3)^2 \times 1.38$$
$$\fallingdotseq 3.9\times10^{23}\ \mathrm{kW}$$

となる。1W＝1J／sであるから

$$L \fallingdotseq 3.9\times10^{26}\ \mathrm{W}$$
$$\fallingdotseq 3.9\times10^{26}\ \mathrm{J/s}$$

である。

では太陽がエネルギーを使い果たすのに，どのくらいの時間がかかるだろうか。太陽の質量を $M_{\odot}$ とすると，太陽の燃料が秘めている核エネルギー E は

$$E \sim \frac{M_{\odot}}{1000} \times c^2$$

となる。これをエネルギー消費率である光度 L で割れば，太陽の寿命 t となる。すなわち

$$t \sim \frac{E}{L}$$

太陽の寿命を求める。

地球上で太陽の日射量をはかると，1平方メートルあたり約1.38キロワットである。これは1秒あたり1380ジュールのエネルギーに等しい。そこで半径1天文単位の球面を1秒あたりに通過するエネルギー L は，地球と太陽の距離を r とすると

$$L = 1380 \times 4\pi r^2$$
$$\fallingdotseq 3.9\times10^{26}\ \mathrm{J/s}$$

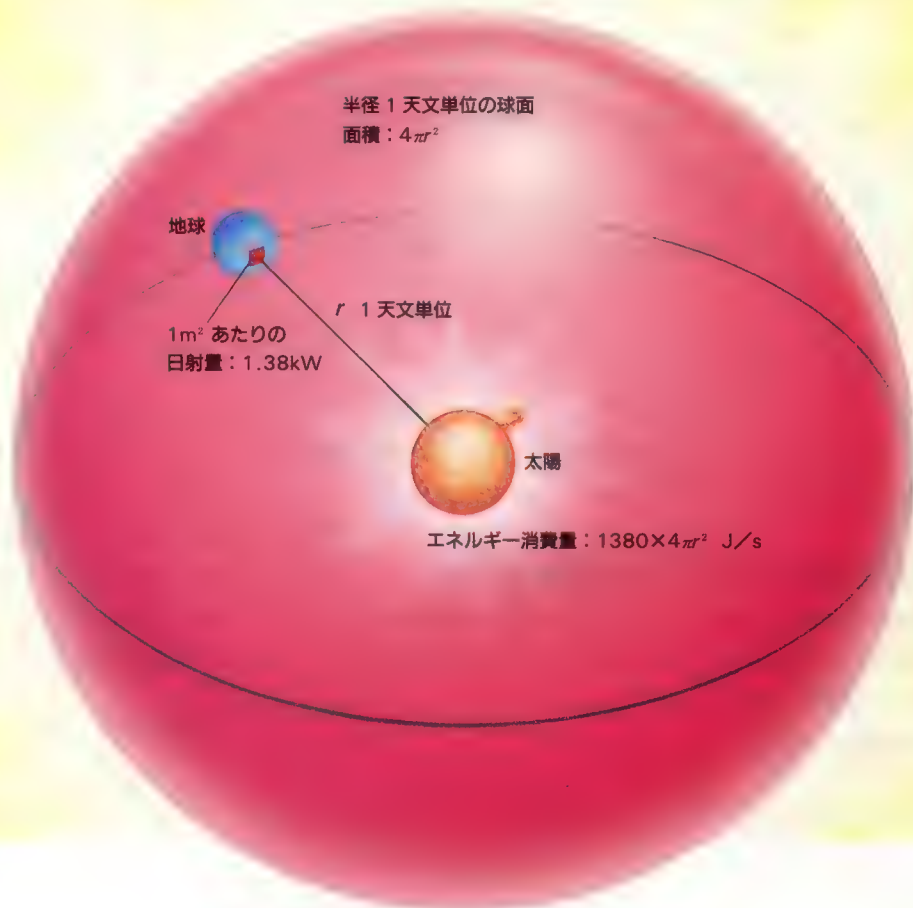
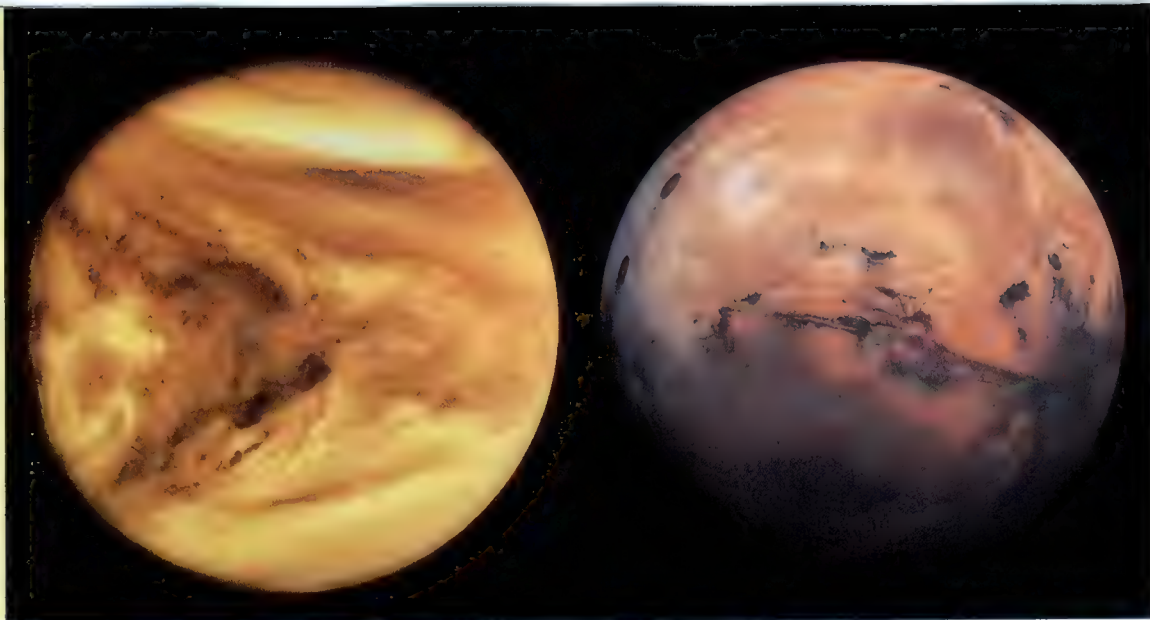
となる。

太陽の質量を $M_{\odot}$ とすると，そのおよそ1000分の1が最終的に消費されるから，太陽がもつ核エネルギー E は，光速を c とすると

$$E \sim \frac{M_{\odot}}{1000} \times c^2$$

となる。よって太陽の寿命 t は

$$t \sim \frac{E}{L}$$
$$\sim 1.5\times10^{10} = 150億（年）$$

と概算できる。正確には太陽の寿命は約100億年である。

金星（左）の最大離角を使って太陽までの距離を求めよう。「ケプラーの第三法則」を使って火星（右）の軌道半径を求めよう。

$$\sim \frac{2\times10^{30}\times(3\times10^{5}\times10^{3})^{2}}{10^{3}\times3.9\times10^{26}}$$

$\sim 4.6\times10^{17}$　（秒）

$\sim 1.5\times10^{10}$ ＝150 億（年）

となる。実際にはさらにくわしい計算で，太陽の寿命は約 100 億年であることがわかっている。太陽系が生まれてから約 46 億年である。太陽は寿命のおよそ半分まできていることになる。

「ケプラーの第三法則」をみちびこう。

地球と太陽の位置関係，そして太陽の質量がわかったので，ほかの惑星の軌道半径，つまり太陽からの距離を簡単に求めることができる。そのためには惑星が太陽のまわりをめぐる周期 P を求めてやればよい。惑星と太陽の距離を R，公転周期を P とする。簡単にするため惑星の軌道は円軌道とする。惑星の軌道速度 V は半径 R の円を周期 P でまわっているから

$$V=\frac{2\pi R}{P} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{i})$$

となる。太陽の質量を M_0 とすると，(2) 式から

$$M_0=\frac{RV^2}{G} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{ii})$$

となる。太陽の質量 M_0 による引力と軌道速度 V による遠心力がつり合っているから，（i）式を（ii）式に入れて

$$M_0=\frac{R}{G}\times\left(\frac{2\pi R}{P}\right)^2$$

$$=\frac{1}{G}\left(\frac{2\pi}{P}\right)^2 R^3$$

$$\therefore\ R=\left[GM_0\times\left(\frac{P}{2\pi}\right)^2\right]^{\frac{1}{3}}$$

$$=\left[\frac{GM_0}{(2\pi)^2}\right]^{\frac{1}{3}} P^{\frac{2}{3}}$$

となり，

$$\left[\frac{GM_0}{(2\pi)^2}\right]^{\frac{1}{3}}=A$$

とおくと

$$R=A\cdot P^{\frac{2}{3}}$$

となる。地球の軌道半径の 1 天文単位と，地球の公転周期 1 年を単位として惑星の軌道半径 R と周期 P を求めるとすると，$R=1$，$P=1$ だから $A=1$ となり，

$$R=P^{\frac{2}{3}}$$

となる。これが有名な「ケプラーの第三法則」である。

ケプラーの第三法則を使って火星の軌道半径 R を求めてみよう。火星の公転周期は約 1.88 年である。そこで

$$R=(1.88)^{\frac{2}{3}}$$

$\fallingdotseq 1.52$　（天文単位）

となる。

もっと正確な計算から九つの惑星の軌道長半径は次のようになる。

水星	0.387　（天文単位 AU）
金星	0.723
地球	1.000
火星	1.524
木星	5.203
土星	9.555
天王星	19.22
海王星	30.11
冥王星（めいおう）	39.54

これで太陽系の大きさの検討がつくだろう。では次回からいよいよ星たちの世界を訪れてみよう。

人類の

GEOGRAPHIC

金 GOLD
文明の歴史とともに歩んできた金属

竹内 均

ギリシア神話や「旧約聖書」にも登場する金は，人類と古く，また深くつきあってきた金属である。
金の最大の用途はなによりも装飾品や工芸品，財産としてである。エジプトのツタンカーメンや，ミケーネのアガメムノンの「黄金マスク」，「チェリーニの塩入れ」など人々を魅了しつづけてきた。
かつて日本はマルコ・ポーロの「東方見聞録」の中で「黄金の国ジパング」として紹介された。それを読んだヨーロッパ人が金の魅力にかきたてられ，東方に夢を抱いた。コロンブスがアメリカを発見するきっかけとなったのも，金にとりつかれた結果によるところが大きい。そして金は今なお人々を引きつけ，魅了しつづけている。

サンクトペテルブルクから南西に29キロはなれたフィンランド湾南岸にあるピョートル宮殿の庭園。「夏の宮殿」ともいい，金箔でおおわれた255の彫像と，一部にそれらの彫像を利用した144の噴水がある。

GLASS WORKS
BARBER SHOP
BATH HOUSE

ゴールドラッシュでにぎわったカリフォルニア州キャリコの金（銀）鉱山跡。金の採掘量の低下とともに人口が減り、ゴーストタウンと化していった。今では当時の鉱山町の面影を残した観光地となっている。

金は酸化しにくくとけにくいため, 用途は幅広く財産的な価値も高い。

金は重くて，その比重は 19.3（測定温度 20 度 C）である。金色の光沢をもち，空気中や水中で酸化しにくく，硫黄とも作用せず，ふつうの酸にもとけない。金をとかすものとしてはセレン酸を含むシアン化アルカリの水溶液や，濃塩酸 3 と濃硝酸 1 の割合の混合液である王水があるだけである。融点および沸点は高く，それぞれ 1063 度 C および 2970 度 C である。金属の中では銀，銅に次いで電気と熱の伝導率が高く，電気や熱を伝えやすい。展性と延性に富み，厚さ 1 万分の 1 ミリメートル，すなわち 10 万分の 1 センチメートルの金箔をつくることができる。原子の直径を 1 億分の 1 センチメートルとすると，これは原子 1000 個分にあたる厚さである。

電気伝導率が高くて腐食性がないために，金は有用な電気接点，プリント回路，半導体部品などをつくるのに使われる。赤外線や紫外線をほとんど反射するために，宇宙飛行士のヘルメットや厳密な空調が必要な建物の窓ガラスなどに金箔がはられる。歯の治療には昔から金が使われてきた。しかし金の最大の用途は装飾品，財産としての保有および通貨価値の裏づけ用などである。金の年間生産量約 1000 トンの中で，工業・産業・歯科用に使われるのは，年間 200〜300 トン程度といわれる。

これまで人類が地球から掘りだした金の総量は 8 万〜9 万トンで，これから掘りだすことが可能な埋蔵量はこの半分の約 4 万トンとされている。現在掘られている量は 1 年に 1000 トンであるから，この勢いでいくと，あと 40 年で金を掘りつくすことになる。よくいわれる石油のそれと似た寿命である。金の価格をかりに 1 グラム 2000 円，すなわち 1 キログラム 200 万円とすると，9 万トンの金の価格は約 180 兆円である。金の比重は 19.3 であるから，9 万トンの金の体積は約 4700 立方メートルである。長さ，幅，深さがそれぞれ 100 メートル，25 メートル，1 メートルのプールの体積は 2500 立方メートルであるから，9 万トンの金の体積はそれの約 2 杯分にあたる。これから掘りだされるものを考えても，このプール 3 杯分にすぎない。

海水中にも金が含まれているが, 濃度が低いため取りだすことは採算に合わない。

海水中には何十億トンもの金が含まれているけれども，その濃度が低いため，そこから取りだすことは採算に合わない。第一次世界大戦後，連合国に対する賠償金を支払うために，ドイツの化学者フリッツ・ハーバー（1868〜1934）は，海水中から金を取りだすことを計画した。もちろんその計画は失敗に終わった。ただし将来たとえば核融合反応が実用化し，無限のエネルギー源が得られれば，それを使って海水中から金を取りだせるようになるかもしれない。

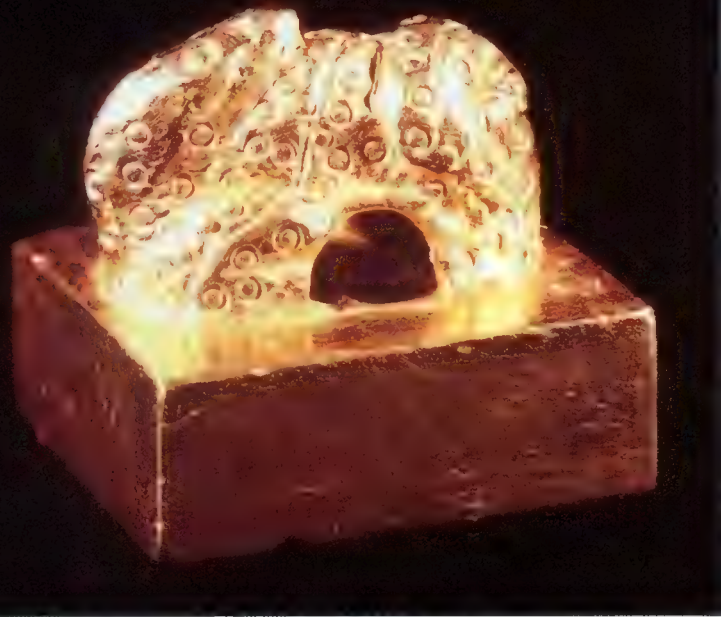
金の多くは銀，銅，鉛の鉱石といっしょになって出てくる。石英脈中の鉱脈として出るほかに，黄鉄鉱，黄銅鉱，硫砒鉄鉱，閃亜鉛鉱，輝安鉱に含まれることもある。金の鉱石として採鉱するものや，銅，鉛などの採鉱，精錬の副産物として得られるものもある。このほかに砂金がある。アメリカのカリフォルニアやアラスカで発見された金には砂金状のものが多い。時にはそれは大きいかたまり（ナゲット）として出ることもある。これは金を含んだ石英の脈が浸食を受けて流しだされた際に，金が川底に堆積したものである。

鉱石から金を精錬する第一歩として水が使われる。これは砂と金との比重の差を利用して金鉱石をえり分ける方法である。なべに砂と水を入れてゆり動かす簡単なものから，といに水を流す大規模なものまでいろいろある。水流し法の一種として，といの中に水銀を加える「アマルガム法」がある。金と水銀とがアマルガムをつくって回収しやすくなることを利用したものである。こうして得られたアマルガムをあとで熱すると，水銀だけが蒸発して金が残る。水銀はこれをくりかえして使うことができる。

金の純度を上げるのに「塩化法」や「電気分解法」が使われる。前者では，とけている金の中に塩素ガスを吹きこみ，金にまじっている銀その他の不純物を取り除く。後者では，純度の低い金の板を陽極とし，電解液中に電流を流して電極上に純金を析出し，付着させる。

金にまつわる伝説はギリシア, エジプト, インド, 中国などに広く伝わっている。

金は金属の中では最も古くから知られていたものの一つである。『旧約聖書』「創世記」第 3 章のエデンの園の記述中にも，「また一つの川がエデンから流れでて園をうるおし，そこから分かれて四つの川となった。その第一の名はピソンといい，金のあるハビラの地をめぐるもので，その地の金はよく……」といった砂金についての記述がある。ギリシア神話にも「金の羊毛」の話が出てくる。これは紀元前 1200 年ごろにアルメニア地方へ遠征したギリシア人が，ヒツジの皮を使って川から砂金をとった話にもとづくものである。このほかエジプト，メソポタミア，エーゲ海諸島，インド，中国などに金についての多くの伝説が伝わ

古代エジプトにはすぐれた金の美術品が多い。「ツタンカーメンの黄金マスク」はその代表的なものである。エジプト文明の遺跡はほとんどが墓泥棒に荒らされた。ツタンカーメン王の眠る「王家の谷」だけが唯一それからまぬかれた王墓である。

1784年 筑前国那珂郡志賀島村(現在の福岡市東区)で発見された純金製の印。「漢委奴国王」の5字が3行に印刻されている。

っている。

中世のヨーロッパでは，ドイツ，オーストリア，スペインなどで金がとれたが，たいした量ではなかった。ヨーロッパ人が金に目覚めたのは，マルコ・ポーロ（1254～1324）の『東方見聞録』中のジパング(日本)についての記述や，インカ帝国を滅ぼしたフランシスコ・ピサロ(1474？～1541)が南アメリカから持ち帰った大量の金によるところが大きい。『東方見聞録』中には，ジパングについて次のように書かれている。「それは東海にある大きい島で，住民は色が白くて文化的で，物資に恵まれて偶像を拝し，独立した国をつくっている。金は無尽蔵にあり，国王は輸出を禁止している。内陸部から遠くはなれているために，商人がこの国を訪れず，したがって金が豊富なのである。ヨーロッパの教会の屋根が鉛で葺かれているように，この国の支配者の宮殿の屋根は金で葺かれている。宮殿内の通路や床は，4センチほどの厚さの金の板で敷きつめられている。窓さえ金でつくられている」。これではヨーロッパ人が日本へきたくなるのも当然である。実際にもマルコ・ポーロの記述は，コロンブスがアメリカを発見するきっかけとなったといわれている。『東方見聞録』には，1274年と1281年の2回にわたる元寇の際に，元の軍が暴風雨にあって敗れたことが，ジパングについての最新の事件として書かれている。

これより先の749年に，聖武天皇によって東大寺大仏がつくられた際に，陸奥国から砂金が献上されたとあるのが，わが国における産金の皮切りである。それ以後奥州での産金が急ピッチにふえ，大陸との貿易の際にそれが重要な輸出品となった。藤原清衡（1056～1128），基衡（生没年未詳），秀衡（？～1187），泰衡（1155？～1189）らの奥州藤原氏の繁栄はこの金によるものであり，中尊寺の金色堂はその栄華を象徴するものである。奥州の金を京都で売って長者になったという伝説的人物が金売吉次であり，彼は鞍馬で牛若丸（源義経，1159～1189）に会い，平泉の藤原秀衡の下へ彼を送り届けた人物とされている。マルコ・ポーロの『東方見聞録』中のジパングの金についての記述は，この奥州藤原氏の黄金文化をさすものと考えられる。

日本と金の関係では，紀元57年に後漢の光武帝が金印を倭奴国王に贈ったと『後漢書』にしるされているのが最初である。奥州での金の産出は鎌倉時代以後衰えた。しかしその技術の伝統は残り，佐渡（新潟県）金山の開発とともにふたたび花開くことになる。佐渡金山が開鉱されたのは1601年（慶長6）のことであり，それより先の1533年（天文2）には石見（島根県）の大森金山が開かれている。金は銀とすべての割合でとけ合って合金をつくる。したがって金山はまた銀山といってもよい。いずれにしても17世紀前半の日本は世界でも有数の産金国であり，年間75トンもの金，銀の合金を産出した。それは豊臣秀吉（1536～1598）が天正大判(長大判や菱大判)をつくり，また徳川家康(1542～1616）が江戸幕府を開くための基金となった。

インカ皇帝アタワルパは6×7メートルの部屋いっぱいの金が用意できた。

ピサロにひきいられたスペインのコンキスタドール（征服者たち）によって征服されたインカ皇帝アタワルパ（？～1533）と金については，次のような話が伝えられている。1532年11月15日に，ピサロを長とする180人のスペイン人たちは，インカ皇帝アタワルパのいるカハマルカ（ペルー）に着いた。その夜は不安のうちに明けた。ピサロたちを見下ろす丘の上に，インカ皇帝は3万～4万の兵士たちを用意していた。翌日の正午ごろに，アタワルパはピサロたちの待ち受ける広場へやってきた。ここでカトリックの修道士が，アタワルパに対してカトリック教会とスペイン王に忠誠を誓うことを求めた。アタワルパが拒否するのを合図に鉄砲が火を噴き，トランペットが鳴りひびき，歩兵と騎兵が皇帝へ向かって突進し，彼を生けどりにした。これまでウマというものをみたことがなかったインカ人にとっては，それこそあっというまの出来事であった。

ピサロに幽閉されたアタワルパは，自分の釈放と引き換えに，彼の幽閉された部屋（間口6メートル，奥行き7メ

ートル)いっぱいに自分の手の届く高さまでの黄金を，2か月以内に用意すると申しでた。やがて国中から黄金が届き，約束が果たされた。王は形式的に一度釈放され，ふたたびとらえられて絞首刑に処せられた。それからまさに1年後の1533年11月15日に，480人の兵をひきいて，ピサロはインカ帝国の首都クスコへ入っている。この話からもうかがえるように，16世紀，さらには17，18世紀にも，ペルーやコロンビアなどの南アメリカが世界一の金産地であった。

19世紀の前半には，南アメリカを抜いてロシアが世界一の産金国となった。ヘロドトス(生没年未詳)は紀元前5世紀のギリシアの歴史家であり，彼の著書『歴史』全9巻はギリシア散文詩史上最上の傑作(けっさく)とされている。その第4巻のほとんど全部がスキタイの記述にあてられている。それによれば，スキタイ人は血に飢えた戦士であり，また金細工を尊んだ。王が亡くなると彼らは墓を掘って葬り，金のさかずき，その他の財宝をそこに埋めたという。スキタイ人に対するヘロドトスの記述は信用されなかった。哲学者アリストテレス（紀元前384～前322）などは，彼を「伝説の小売商人」とよんで軽蔑(けいべつ)したほどである。

紀元前6世紀に黒海北岸を支配していたスキタイ人の金の伝説は現存していた。

1715年にシベリアの一鉱山主がピョートル大帝（1世，1672～1725）に黄金の貢(みつ)ぎ物を献上して，はじめて人々は

岩手県平泉町の中尊寺境内(けいだい)にある金色堂。1124年に建立(こんりゅう)された。藤原清衡，基衡，秀衡の3体が祭られている。堂の四壁が金箔で塗装され，「光堂」ともいわれている。奥州藤原氏の栄華を象徴するものである。

スキタイ人の血と黄金の伝説を信じるようになった。今ではスキタイ人が紀元前6世紀ごろから黒海北岸の草原地帯を支配した騎馬民族であることがよく知られている。

シベリアからの黄金の貢ぎ物はあいついだ。それらはすべてトルコ語で「クルガン」とよばれる高く土盛りされた墳墓を掘って得られたものであり，それはまさにヘロドトスの記述を裏書きするものであった。その後黄金を求めてクルガンを掘る人が続出したために，ピョートルはついにスキタイの財宝を私物とすることを禁止し，それらをすべて皇帝へ引き渡すように命令したほどである。こうして皇帝の下へ送られたものはすべて，現在サンクトペテルブルク（旧レニングラード）にあるエルミタージュ美術館におさめられ展示されている。その後シベリアで金鉱山がみつかり，ロシアが世界でも有数の金産出国となった。

1850年ごろ以後カリフォルニアでゴールドラッシュがおこり，19世紀の終わりから20世紀のはじめへかけては，アラスカのユーコン川，カナダ，南アフリカ共和国のトランスバールなどで金鉱が発見された。その後南アフリカが世界第一の産金国となり，自由主義国の金産出量の約3分の2を占めるに至った。

南アフリカ共和国東北部のトランスバール州のウィトウォーターズランド高原は世界最大の金産地であり，ヨハネスバーグ（人口約63万人）がその中心地である。ここでの金鉱は1880年代に発見され,活発な採掘がつづけられている。この地方での金鉱山の坑道の長さは500キロ，深さは4.5キロにもおよんでいる。地表から地中へ向けて，エレベーターと通気および冷房のための縦穴が掘られている。これくらいの深さになると,そこでの岩石の温度は50度Cにもなる。湿度も高い。金鉱石を掘りだすときのほこりを静めるために，大量の水をまくからである。高い温度と湿度のほかに，「ロック・バースト」とよばれる岩石爆発もまた，金鉱山で作業する人たちにとって悩みの種である。岩石の採掘によって地中でのひずみの状態がかわり，時ならぬ岩石爆発がおきるからである。これを事前に察知するための装置もそなえられている。

紀元前2500年ごろからすでに金細工の歴史がはじまっていた。

金細工には長い歴史がある。紀元前2500年ごろからすでに鍛造や鋳造の方法が知られていた。鍛造は金の展性や延性を利用した加工法であり，金の板やかたまりを鉄のハンマーでたたいてさまざまな形にする。鋳造はとかした金を鋳型に流しこんで固め，目的の形にする方法である。鋳造の一種に「ろう型法（ロストワックス法）」がある。土でつくった原型の上に蜜ろうと松やにをまぜたものを一定の厚さに塗り，これに彫刻をほどこしたあとで土で固める。これを熱して乾燥させると，ろうが流れて空隙ができる。この空隙へとかした金属を流しこんで固めることによって，微妙な模様をもった金属製品をつくることができる。これがろう型法であり，中空の金属製品をつくることも可能である。たがねとつちを使って，金属の表面に彫金や線彫りをする。鋭いたがねで彫った細い溝の中に，金をハンマーで打ちこむことによって象眼がほどこされる。陶磁器やガラスを金箔や金粉でおおったり，絵づけをしたりするのがめっきであり，金属の素地にガラス質のうわ薬をつけて装飾したものが七宝である。

貨幣が最初につくられたのは小アジア（現在のトルコ）のリュディア王国においてであり，紀元前7世紀ごろである。リュディア王国はエーゲ海にのぞむフルギア平野にあり，現在のイズミルの東にあるサルディスがその首都であ

一獲千金を夢みて金を掘っている人は多い。現在金を多く産出しているのは南アフリカ共和国やカナダ，オーストラリアなどである。写真はアメリカ西部ネバダ州の金鉱山。手のひらに金の粒を含んだかたまりがみえる。

サンクトペテルブルクにあるエルミタージュ美術館の内部。歴代皇帝の住居でもあり，「冬の宮殿」ともよばれる。1050の部屋，120の階段，部屋の総面積は4万6000平方メートル。収蔵されている展示品は絵画，彫像，発掘品など合わせて230万点以上に上る。作品1点につき1分間鑑賞しても全部で5年以上かかるといわれている。

った。このリュディア王国の王キュゲス（生没年未詳）は，この国に産出する金と銀の自然の合金を鋳造して最初の貨幣をつくった。紀元前6世紀にこのリュディア王国の最後の王となったクロイソス（在位紀元前560～前546ごろ）は，世界で最初の金貨をつくっている。その後ギリシアで貨幣がつくられ，マケドニア出身のアレクサンドロス大王（在位紀元前336～前323）は，彼の鋳造した貨幣をオリエントへ持ちこんでいる。

わが国の金貨では，豊臣秀吉がつくった天正大判や徳川家康がつくった慶長大判が最もよく知られている。天正大判の表には拾両としるされており，その目方は165グラムもあって，世界最大の金貨といわれている。秀吉はこれらの大判を大阪城の金蔵に山と積んで，その豊富な軍資金を諸大名にみせびらかしている。また1589年（天正17）に新築した別荘，聚楽第に皇族，公家，大名を集め，彼らに天正大判を配っている。

このことからもわかるように，このころの大判は貨幣というよりもむしろ軍用金，戦功の報奨，儀礼的な贈答用であった。その後対外貿易の支払いに金貨が使われるようになり，多量の慶長大判や小判が長崎港からオランダへ流出し，国内で金が不足するようになった。元禄のころから貨幣の改鋳が行われるようになったのはこのためである。

ミケーネから出土した「アガメムノンの黄金マスク」。アガメムノンはトロイ戦争におけるギリシア軍の総大将の名である。このほかに五つの黄金のマスクがある。

エジプト，ミケーネからみつかった黄金のマスクは歴史的な金の工芸品である。

歴史的な金の工芸品としては，カーター（1873～1939）がテーベ（現在のルクソル）西部の「王家の谷」から見いだした「ツタンカーメンの黄金マスク」や，シュリーマン（1822～1890）がトロイおよびミケーネから発掘した「プリアモスの財宝」や「アガメムノンの黄金マスク」などが有名である。

「王家の谷」はナイル川中流域のルクソルの左岸にある石灰岩の谷である。ここはエジプト新王国（第18～20王朝，紀元前1567年ごろから前1085年ごろまで）の国王たちの墓所である。墓はいずれも石灰岩の崖の面に深く掘った横穴式である。これ以前の国王の墓はピラミッドであり，豪華な埋葬品もここにおさめられた。当然のことながら，これは盗人たちにとっては絶好の目標となった。彼らの盗掘を防ぐために，新王国時代の墓所は人里はなれた王家の谷につくられ，埋葬品もまたここにおさめられた。これとは別に儀式や礼拝を行う壮大な葬祭殿がつくられた。しかしこのような王たちの願いも，巧妙な盗人の前には無力であった。ツタンカーメンのそれを除くすべての墓が古い時代にすでに盗掘されている。

ツタンカーメンはエジプト第18王朝第12代の王であり，太陽神アトン崇拝で知られた第10代の王イクンアトン（アメンホテプ4世，在位紀元前1379～前1362）の甥である。彼の在位は紀元前1363ごろ～前1354年ごろであり，18歳で亡くなっている。はじめはアトン信仰をあらわす名であるツタンク・アトンを名のったが，まもなくエジプトのもともとの神であるアモン神信仰をあらわすツタンク・アモンと名をあらためた。ツタンカーメンはこのツタンク・アモンがちぢまったものである。イクンアトンは首都をテーベからアマルナへ移し，ツタンカーメンもはじめはここにいた。しかしまもなく元の都であるテーベへもどっている。

カーナボン卿（1866～1923）の援助を得て，イギリスのカーターがツタンカーメンの墓を探りあてたのは1922年である。縦6.4メートル，横4.0メートルの玄室（墓室）はほとんど荒らされていなかった。この部屋の中に黄金マスクをかぶったツタンカーメンのミイラが安置されていた。ミイラは3重の人型棺と4重の厨子の中に入れられていた。黄金マスクは純金であり，人型棺は22金の金でもっておおわれており，その重さは135キログラムあった。現在ツタ

「チェリーニの塩入れ」。右に海の神ネプチューン，左に地の神セレスが座り，左のセレスのそばの寺院が胡椒入れ，奥にあるのが塩入れになっている。最高の金工芸品であり，最もぜいたくな調味料入れである。

ンカーメンのマスクは，カイロにあるエジプト博物館におさめられている。

シュリーマンがトロイおよびミケーネから発掘した「プリアモスの財宝」や「アガメムノンの黄金マスク」のプリアモスおよびアガメムノンは，それぞれトロイおよびミケーネの王の名である。トロイはダーダネルス海峡に面したトルコの北西端にあり，またミケーネはギリシアの東南岸にある。紀元前8世紀ごろの人とされるギリシアの詩人ホメロス（ホーマー）が書いた『イリアス』および『オデュッセイヤ』は，紀元前12世紀ごろにミケーネを含むギリシアとトロイとの間に戦われたトロイ戦争と関係した詩物語である。シュリーマンは，トロイでは黄金のさかずき，王冠，首飾り，腕輪などを発見し，これを「プリアモスの財宝」とよんだ。彼がミケーネで発掘したものの中には黄金製品が多かった。その中でもとくに6個の黄金のマスクが有名である。そのうちの一つをシュリーマンは「アガメムノンの仮面」とよんだ。このうちのミケーネでの発掘品は現在アテネにある考古学博物館におさめられている。ベルリンの先史，歴史博物館におさめられていたプリアモスの財宝は，第二次世界大戦の終わりごろから行方不明となっている。

最もみごとな金の工芸品は，ウィーン美術史美術館にある「チェリーニの塩入れ」とされている。これはイタリア後期ルネッサンスの彫刻家・金工芸家ベンベヌト・チェリーニ(1500～1571)が，フランス王のフランソワ1世(1494～1547)のために，1539年から43年へかけてつくったものである。「この作品をみたとき，王はおどろきのあまり息をのみ，それから目をそらさなかった」と，チェリーニはその自叙伝の中で書いている。チェリーニはフィレンツェに生まれ，ミケランジェロ（1475～1564）の下へ出入りしている。若いころの彼は酒と女におぼれ，決闘と悪徳を重ね，法王庁の宝物を盗んだとして投獄までされている。しかし彼の才能をおしんだフランソワ1世が，フォンテンブローの宮廷へ連れてきて，そこで金銀や宝石細工の制作に専心させた。

チェリーニの塩入れでは，地と海の神であるセレスとネプチューンが向き合って座っている。その一方の側にはイオニア風の寺院が，他方にはボートが置かれている。前者が胡椒入れであり，後者が塩入れである。半分ウマで半分魚のタツノオトシゴがネプチューンを支えている。セレスの足のそばからは1匹のイヌが顔を出している。全体を支える黒檀の台の上には，楽器にもたれかかったヌードの女性が眠っている。これは塩入れというよりもむしろ全宇宙であり，最高の金工芸品とよばれるのもむりはない。

オットー・ゲーリケ

マクデブルク終身市長であったゲーリケは，政治活動の合間に，空気ポンプを使った真空の実験や摩擦電気に関する研究を行った。人々の興味をひきつける彼の科学実験は，ヨーロッパや日本にも大きな影響をあたえた。

もり いずみ

勉学の場を転々とするゲーリケ

真空の実験をしたことで有名なオットー・ゲーリケは，1602年にドイツのマクデブルクという町の名門の家に生まれた。マクデブルクはベルリンの西約140キロメートルにある。1617年にライプチヒへ勉強に出かけたけれども，やがてここに戦乱がおよんできた。彼は一時ヘルムシュテット，さらにはイェーナへ移って法律を勉強した。その後オランダのライデンへ行き，さらにフランスやイギリスへ留学して，1626年に故郷のマクデブルクへ帰ってきた。

ゲーリケが勉強する場所をこのようにしばしばかえたのは，1618年から1648年へかけて，ドイツを舞台として三十年戦争がおきていたからである。そのころドイツは神聖ローマ帝国に属していたけれども，皇帝の威力は地に落ちて，諸侯が実権をにぎっていた。マルチン・ルター（1483～1546）によって口火を切られた宗教改革の嵐（あらし）がドイツを吹きまくっていた。ボヘミアでおきた新教徒の反乱がもとで三十年戦争がおき，スペイン，オーストリアが旧教側につき，イギリス，フランス，オランダ，デンマーク，スウェーデンが新教側についた。フランスは旧教国であるにもかかわらず新教徒を助けている。三十年戦争の終結ともなった1648年の『ウェストファリア条約』では，「領主の宗教は領民の宗教」という原理が承認された。なんのために30年間戦ったのかがわからないような結論であった。ともかくこの三十年戦争によって，ゲーリケは勉強の場所を次々にかえたのである。

ゲーリケが最初に勉学の場としたライプチヒにも戦乱がおよんだ。

トリチェリーに先立つ真空の実験

1626年にマクデブルクへ帰ってからは，彼はこの町の防衛に力をつくした。しかしそのかいもなく町は破壊された。1646年にマクデブルクの終身市長となったゲーリケの仕事は愛する町の復興であった。このようにいそがしい政治的・社会的活動の合間に，彼は空気ポンプの発明をした。多くの歴史家の調べによって，彼の空気ポンプは1641年より前に完成しており，その研究は1636年から41年へかけてなされたものとされている。そうだとすると彼の研究は，1643年になされたイタリアの物理学者エバンジェリスタ・トリチェリー（1608～1647）による有名な「トリチェリーの実験」に先立つものである。

トリチェリーは有名な天文学者，物理学者のガリレオ・ガリレイ（1564～1642）の弟子である。すでに盲目になっていたガリレオに，最後の3年間を秘書および友人として仕えた。トリチェリーの実験はガリレオの死の翌年の1643年になされたものである。水銀（すいぎん）を満たしたガラス管の一端を閉じ，閉じた方を上にして別の水銀を入れた器に立てると，管中の水銀が少し落ちて約76センチメートルの長さにとどまり，その上部に「トリチェリーの真空」ができる。管中の水銀を持ち上げているのは，この器に入れた水銀の表面を押している大気の圧力であり，現在ではこのような水銀柱が気圧計として使われている。「トリチェリーの真空」は人類が最初につくりだした真空であり，当時はこれがた

Otto von Guericke（1602～1686）

いへんな評判になった。紀元前350年ごろのギリシアの哲学者アリストテレスによれば，真空は「無」であり，真空があるというのは「無」があるということで，それ自身矛盾した考えである。したがって真空はないということになる。ないはずだった真空が発見されたのであるから，たいへんな評判になったのもむりはない。

1648年ごろにフランスのブレーズ・パスカル(1623～1662)は，姉の夫であるペリエといっしょに，当時彼の住んでいたルーアンの町の近くにあるピュイドドーム山（1463メートル）の頂上へ水銀気圧計を運び上げた。高く登るとともに水銀柱が下がり，山の頂上ではふもとよりも3センチメートルも低くなった。これは大気をつくる空気の重さによって気圧が生じることを示した実験であった。

ゲーリケは，トリチェリーやパスカルの実験については知らなかった。大規模な真空をつくりだしたいと思った彼は，水ポンプと似た原理の空気ポンプをつくった。手動式のもので，空気を抜くスピードは遅かったけれども，空気もれしないようにくふうしたおかげで，きわめて能率のよいポンプであった。最初ゲーリケはしっかりふたをしたおけの中に水を満たし，その水を抜きとればおけの中が真空になるだろうと考え，おけの底にポンプを取りつけて水を抜いた。おけのすき間から空気が浸入して，おけがつぶれてしまった。空気が浸入しないように，おけのすき間にピッチを塗ってみたけれどもだめであった。水をいっぱい入れた大きいおけの中に小さいおけを入れ，その小さいおけの中の水をポンプで抜きだすことも試みた。これならばどこからも空気の入りこむ心配がないと考えての実験であったけれども，これまただめであった。小さいおけの中へ水と空気の両方が浸入したのである。きめの粗い木を使ったのではだめだと気づいたゲーリケは，木のかわりに銅の球を使うことにした。今度はぐあいよくいったけれども，やがてポンプが重くなってきた。それにもかまわず，2人がかりでポンプを動かした。中の空気が抜け終わったと思うころに，大きな音を立てて銅の球がこわれ，こなごなになってしまった。球の中が真空になるにつれて，外から押す大気の圧力に耐えかね銅の球がこわれてしまったのである。球が完全な球でなかったこともいけなかった。そこで今度は注意して完全な球形をつくりあげ，もっと強い銅の球をつくることができた。1650年ごろのことである。このころすでにゲーリケはマクデブルクの市長に選ばれており，市長として平和会議に出席したり，レーゲンスブルクで開かれた国民議会に出席したりした。その合間をぬっての実験であった。

1番目の方法でつくられた真空ポンプ

人々の興味をひきつける科学実験

ゲーリケはつねに,「言葉のすばらしさや討論のうまさなどは，自然科学の研究にはなんの役にも立たない」といっていた。自然科学では実験などによる実証が最後の決め手であることを彼は確信していたのである。たまたま1654年にレーゲンスブルクで国民議会が開かれ，大勢の貴族や議員が出席し，神聖ローマ皇帝フェルディナント3世（1608～1657）がやってくるという話を聞いた。ゲーリケはこれこそが人々に空気の圧力や真空の存在を知ってもらうよい機会であると考えた。こうして有名なマクデブルクの半球実験が行われることになったのである。

完全な球のかわりに二つの半球を合わせたものを使ったので，この実験は「半球実験」とよばれた。はじめのうちは2人が両方からひっぱると，半球はたやすくはなれた。しかし球の中が真空になるにつれて，そうはいかなくなった。最後には片方に8頭ずつ，合計16頭のウマを使ってひきはなそうとしたけれども，はなすことができなかった。ウマをむちでたたいて力を出させたけれどもだめであった。半球の中へ空気を入れると，半球はひとりでにはなれた。それはまるで魔法のような実験であり，会議に出席した人

銅のかわりにガラスの球を使ってつくられた真空ポンプ

中が真空の二つの半球をおもりを使ってひきはなす実験

や見物人のすべてをおどろかした。この実験の話はただちに各国へ伝えられた。ゲーリケがトリチェリーの実験について知ったのは，このときであるという人もいる。

その後ゲーリケは銅のかわりにガラスの球を使い，中がみえるようにしていろいろな実験をした。たとえば真空中ではろうそくが消え，鳥や魚が死んだ。燃焼や呼吸に必要な空気中の酸素がなくなったからである。真空中ではブドウが半年間も新鮮なままであった。それを腐敗させる空気中の細菌が取り去られたからである。時計を真空中に入れると，その音が外部に伝わらなくなった。光とはちがって音は真空中を伝わらないからである。球の中へ空気を入れてその重さをはかり，空気を抜いたあとでもう一度重さをはかると，空気の重さがわかる。こういった実験をして，彼は空気の密度が温度や圧力によってかわることを見いだした。これはのちの「ボイル・シャルルの法則」の基礎となる実験であった。

あるときゲーリケはつい口をすべらせて，「真空容器へ向けて息を吐きだす人がいたら，それがその人の最後の息となるだろう」といった。それがうそでないことを証明し，しかも安全な実験をやろうということになった。ピストンにつけたひもの一方の端を 50 人がひっぱり，他方の端を筒形の真空容器につないだ。とたんに 50 人が前のめりになり，筒の方へ引きこまれた。全力をふるってひっぱってみてもだめであった。いくつかの滑車を利用して，真空容器からの力で人をひっぱり上げてみた。20〜30 人がたやすく引き上げられた。

水銀気圧計では 1 気圧が 76 センチメートルに相当する。水を使うと 1 気圧が約 10 メートルになる。ゲーリケは真空容器を使って気圧計をつくり，水柱の高さが時とともにかわることを示し，それを天気予報に使った。水面に浮かべた木彫りの人形が筒の中を上下して，人形の指が現在の気圧を示すくふうをした。この水気圧計やマクデブルクの半球の実験からも，ゲーリケが科学実験で人々の興味をひきつけるくふうをする特別の才能をもっていたことがわかる。

「ボイルの法則」を見いだす助けに

空気の圧力や真空についてのゲーリケの実験はたいへんな評判となった。「これほどの驚異は世界がはじまって以来，太陽もまだみたことがない」などといいだす人もいた。

そのゲーリケの研究を広く世に伝えたのはレンボルク大学の物理学および数学の教授をしていたガスパー・ショットであった。彼は 1657 年に『水圧の力学』，1664 年に『珍

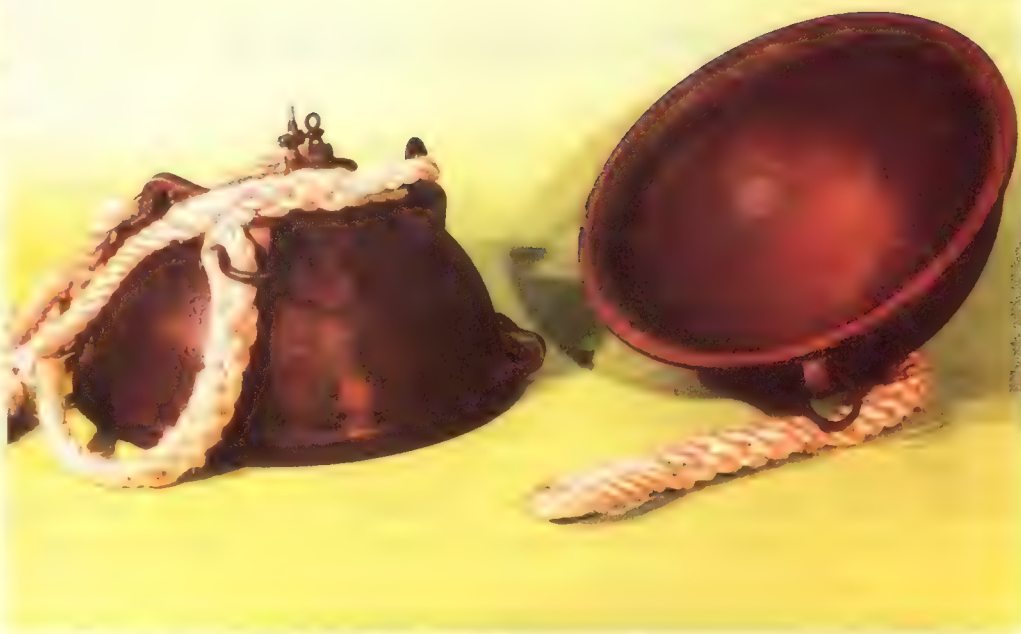
マクデブルクで行われた「半球実験」。二つの半球は16頭のウマでもひきはなすことができなかった。

しい技術』という本を書いた。この本によって，ゲーリケの仕事が全ヨーロッパに伝わった。「ボイルの法則」で有名なイギリスのロバート・ボイル（1627～1691）はこれらの本を読んで，彼の実験をはじめた。

弾性論における「フックの法則」で有名な助手のロバート・フック（1635～1703）の助けを得て，彼は真空ポンプをつくった。それはゲーリケのポンプを改良したものであった。フックの腕がすぐれていたこともあって，りっぱなポンプがつくられた。これを使ってボイルはまず，真空中では鉛のかたまりも羽毛も同時に落ちることを確かめた。これはトリチェリーの師だったガリレオ・ガリレイがやろうとしてできなかった実験であった。このポンプを使って，やがてボイルは「気体の体積は圧力に反比例する」というボイルの法則を見いだした。

摩擦起電機をつくり，斥力をも見いだす

ゲーリケはまた摩擦起電機をつくった。こはくを摩擦するとそれが軽い物体をひきつけるようになることは昔から知られていた。紀元前600年ごろのギリシアの哲学者タレスが最初にそれに気づいたともいわれている。磁石が鉄だけをひきつけるのに対して，こはくは軽い物体ならばどんな物でもひきつける。したがってこの力は磁気力ではなかった。これは電気力だったのである。摩擦電気を最初に研究したのはイギリスのウィリアム・ギルバート（1540～1603）である。彼の職業は医師であり，エリザベス1世（1533～1603）の侍医であった。ギルバートは，こはく以外にも水晶や宝石を摩擦すると同じ現象があらわれることを発見した。こはくに対するギリシア語はエレクトロンである。それにちなんでギルバートは，摩擦電気をおこす物質を総称して「エレクトリック」とよんだ。彼はまた「電気力」「電気的引力」「磁極」といった術語を最初に使った人である。

1600年にギルバートは『磁石について』と題する本を書き，地球がそれ自身大きい磁石であることを明らかにした。地球上へ小さい磁針をもってくると，そのNとしるした端が北を指す。この性質を使って，ハイキングなどで使うコンパスがつくられているのである。重心をわざとはずして支えてあるために，コンパスの針は水平を指して止まる。しかし，重心を支えると北半球ではコンパスのN極，南半球ではS極が水平よりも下を指す。北極ではN極，南極ではS極が真下を指す。N極あるいはS極が水平面に対して傾く角度を「伏角」とよんでいる。球形の磁石を使って実験したギルバートは，その上でこれと同様なことがおきる

「半球実験」で使われた直径が最も大きい半球

のを観察し，地球が一つの磁石であることを明らかにした。このようにして地球が磁石であることは明らかになったけれども，それがなぜ磁石であるのかという理由は最近までわからなかった。1950年代に入って，地球内部の核内で電磁石と似たはたらきがあり，それが地球磁場の原因であることがわかった。

ギルバートの研究をおし進めて，ゲーリケは摩擦起電機をつくった。子供の頭ほどの大きさのガラス球にとかした硫黄を入れ，よく冷やしてからガラスをこわし，中から取りだした硫黄に心棒をつけ，これに手をふれながら球を回転させると，摩擦によって電気が生じる。これがゲーリケのつくった起電機である。この起電機を使ってさまざまな実験をしたゲーリケは，電気力にはギルバートの示した引力だけでなく，斥力もあることを示した。

このことをさらにはっきりさせたのは，フランスのシャルル・デュフェー（1698～1739）である。彼はガラスおよび樹脂を摩擦したときに生じるガラス電気と樹脂電気の2種類があることを示した。現代流にいえばそれらはそれぞれ陽電気および陰電気である。陽電気と陰電気との間には引力がはたらくけれども，陽電気と陽電気あるいは陰電気と陰電気との間には，斥力がはたらくことをもデュフェーは明らかにした。

ゲーリケの研究は世界に広がる

デュフェーが電気に陽陰の2種類があることを明らかにした1733年から10年余りたった1746年に，オランダのライデン大学の教授であったペトルス・ミュッセンブルーク（1692～1761）がゲーリケの起電機を改良し，多量の電気をたくわえることのできる蓄電器を発明した。それはガラスびんの内面と外面にすず箔をはって両極としたコンデンサーであり，「ライデンびん」とよばれた。これは電気の実験を進歩させるうえで重要な発明であった。ミュッセンブルークは日本の物理学にも大きい影響をあたえている。1836年（天保7）に豊後（大分県）の人，帆足万里（1778～1852）が『窮理通』全8巻を編集した。これはオランダの書物をもとにしてつくった天文，暦法，地理，物理，生物の本であった。このときに物理方面の参考書としたのが，このミュッセンブルークの物理書だったのである。

ゲーリケは温度計についても研究し，磁場が変化するときに電流が流れる電磁誘導現象にも気づいていたといわれる。電磁誘導の本格的な研究をしたのは，イギリスのマイケル・ファラデー（1791～1867）である。

地球は今 Save Our Planet

●地球環境ウォッチ

湾岸戦争での鳥たちの悲劇を忘れるな

百瀬邦和 山階鳥類研究所

湾岸戦争から2年が経過した。この大油田地帯における戦争は，環境破壊という意味でも世界中を注目させた。1991年1月，流出した原油が海と海岸をおおい，油にまみれた鳥の写真が人々の胸を打った。あの鳥たちはその後どうなったのだろうか。

ICBP（国際鳥類保護会議）は戦争終了後すぐに現地へ調査官を送った。1991年3月から6月にかけて調査した結果，原油流出による被害が最も深刻なのはシギ・チドリ類であるとわかった。これを受けて山階(やましな)鳥類研究所は，ICBP，NCWCD（サウジアラビア国立野生生物保護・開発委員会）と協同で，1991年秋に4週間の調査を行った。シギ・チドリ類がこの地域に渡来するのは春と秋の2回である。

原油に汚染(おせん)されたのはクウェートからサウジアラビアにかけての約400キロの海岸線である。ここでどれくらいの生物が死んだのであろうか。直後は真っ黒であった海岸も，われわれが行ったときにはすでに茶色っぽくなっていた。砂の中や石の表面などには黒々とした油が残り，汚染のひどさを物語っていた。

約200キロの海岸線をくりかえしまわって目視観察した結果，原油の汚染地域は非汚染地域にくらべてシギ・チドリ類が極端に少ないことがわかった。場所ごとの観察数は，非汚染地域の7000～3万8000羽に対し，汚染地域ではわずか4～1000羽であった。

汚染地域では鳥の姿がほとんどみられないので，汚染地域に隣接したジュバイル郊外で鳥の捕獲調査を行った。捕獲したシギ・チドリ類1042羽のうち，体に油が付着していた個体と付着したあとのある個体は18％にも上った。8か月が経過し，またその間に羽が抜けかわっているにもかかわらず，油の直接的な被害を受けている個体がまだこんなにも多いのにおどろかされた。最も数が多いハマシギで体重を比較してみた。油よごれのひどい個体の平均体重は，よごれのない個体の平均体重より8％少なかった。

捕獲した鳥には金属リングとカラーマークをつけて放鳥した。生きのびた鳥たちはしばらくの間，原油に含まれているさまざまな化学物質の影響を受けつづけるであろう。えさの小動物などを通じて，あるいは皮膚から直接取りこむからである。その影響は生理機能の異常や繁殖能力の低下などとなって，この地方の個体群の減少につながる可能性をもつ。放鳥した鳥を今後も継続して調査することがぜひ必要である。

ところで被害を調査するうえで痛感したことの一つは，ペルシア湾地域の野生生物に関するそれ以前の基礎資料の貧弱さである。戦争が，ペルシア湾地域の自然に対する世界と当事国の関心を集めた最初の機会だったということは，実に皮肉である。

しかし戦争が環境にあたえる影響は，けっしてその地域だけにとどまらない。渡り鳥たちは中東を経由してアフリカ東部からユーラシア大陸北部へ飛び，影響は広範囲に広がっていく。今回はふれなかったが，湾岸戦争がもたらしたもう一つの環境破壊である油井(ゆせい)火災のばい煙は，ヒマラヤにまで届き，黒い雪を降らせたという。たとえ局地戦であれ，現代の戦争は地球規模で環境を破壊する危険性がきわめて大きい。2年前の湾岸戦争の教訓を無にするようなことがあってはならない。

波打ち際に残る油汚染（1991年秋）。乾燥した油が砂の表面をおおっている。右の写真は腹部にべっとり油のついたオジロトウネン。

アフリカに生息するクロサイ。このりっぱな2本の角さえなければ殺されずにすむのだが。

●野生生物は今

生きのびるためにクロサイは角を切る

永戸豊野　WWFJapan（世界自然保護基金日本委員会）

1970年代をむかえたとき，世界の5種のサイのうちで圧倒的に個体数が多かったのはクロサイだった。ほかのサイの個体数は数十～数百頭，比較的よく回復していたシロサイも3000頭前後であった。ところがクロサイだけは，6万頭はいるだろうといわれていたのである。

それから20年余りたった今，クロサイは絶滅のおそれが濃厚になってきた。TRAFFIC（野生動植物国際取引調査記録特別委員会）東・南アフリカ事務局長トム・ミリケン氏の最近のレポートによると，アフリカ大陸全体でクロサイは約2400頭しかいない。近年まで最も多かったジンバブウェの個体群も激減して500頭で，ここでも急速に絶滅に向かっているという。クロサイをここまで追いつめたのは密猟である。密猟を防げないとしたら，絶滅は必至だ。

クロサイは『ワシントン条約』の付属書Iにあげられ，国際的な商取引は認められていない。にもかかわらず密猟が絶えないのは，角が高価にさばけるからだ。その角は主にアジアに送られ，薬になる。一時は北イエメン（現在は南イエメンと合併してイエメン共和国）へも大量に流れ，短刀のつかに使われていた。需要があれば密猟はなくならない。取引先は台湾，韓国，タイなどである。

もしサイに角がなければ密猟もされないだろう，とはだれもが考えることだ。すでにこの考えを実行している例がナミビアにある。ジンバブウェでも角切りを行いたい意向だとミリケン氏のレポートは告げている。そして，そのための費用（1頭につき1000～2000ドル）が捻出できないとも。

1970年の2万頭から300～400頭に減ったケニアでは，捕獲して数か所の特別なサンクチュアリに収容している。WWF（世界自然保護基金）はこれを支援しているが，ジンバブウェの角切りについては「やむをえない」とみている。角は2～3年で再生するらしい。しかし，これが保護の最後の手段といえるのか。

●アースマター

日本より100歩進んだドイツのリサイクル

ドイツのリサイクルに関する法律はまったくすごい。商品の包装材を廃棄してはいけない，というのである。梱包用の発泡スチロールなどはもちろん，アイスクリームのカップからアルミホイルに至るまで，企業はそれらを引き取ってリサイクル（再使用または再生）しなければならないのである。

そこでいちやく脚光を浴びたのが「デュアル・システム・ドイツ（DSD）社」という会社だ。商標マーク「グリーン・ドット」を企業に売り，そのマークのついた包装材を回収・分別し，リサイクル・プラントへ運ぶことを請け負う。

法律は1991年12月から93年1月にかけて段階的に施行されてきている。ドイツ産業界はリサイクルを前向きに受け入れ，DSD社の試験的運営は好結果をおさめてきた。批判的な声はむしろ環境運動家から聞かれる。リサイクルにかかるエネルギー量の大きさを考慮していない点などについてである。しかし包装材の使用量を減らし，合成樹脂をやめて紙や木を使おうといった企業努力がみえはじめているのは確かである。

DSD社は各家庭から包装材を回収する。

LETTERS

宇宙に年齢があった!?
横沢千佳子／茨城県那珂郡

10月号で特におもしろかったのが，*NEWTON SPECIAL* の「宇宙に強くなる」です。宇宙の本を読む時，いつもそのスケールの大きさに驚いてしまうのですが，今回新たに驚いたのは，宇宙にも年齢があったという事です。しかも150億年とは……。宇宙がなにかのキッカケで誕生したなんてあまりにも不思議すぎて，考えていると頭の中が超新星爆発を起こしそうです。

宇宙が好きな獣医の卵です
吉川知宏／神奈川県相模原市

僕は大学で獣医になろうと獣医学科に入りました。高校の時も生物は好きで，物理はあまり好きではありませんでしたし，今もそうです。が，宇宙のことになると別です。“中性子星”“クウェーサー”“パルサー”など，定期購読していたNewtonを読んで知り，より宇宙のことが好きになりました。10月号の「宇宙に強くなる」を読んで，もっと好きになりました。これからもいろいろ宇宙のことについて，いろいろ読ませて下さい。特に，ずっと前にもやったワープについて特集して下さい。

● 読者からのご質問をはじめ，宇宙の素朴な疑問に答えた10月号の特集はとても好評でした。今後ほかの分野でも，このようなQ&A形式で皆さまのご質問に答えていきたいと思います。

宇宙のQ&Aをもっとくわしく
水川直美／岐阜県美濃加茂市

10月号の「宇宙に強くなる」を読んで，なあーるほどと思うことがたくさんありました。その反面，どうすればそんな事がわかるの？という疑問も持ちました。全体的にもっとくわしく解説してもらえると，とてもうれしいのですが。

たとえばQ7, Q16, Q20, Q22, Q24に対する解説です。星や銀河の数，宇宙の総重量など，一体どのようにして求めたのですか。教えて下さい。

● 11月号から新連載「宇宙を計算しよう」がはじまりました。宇宙の総重量や月までの距離などの計算方法をわかりやすく解説します。今後は太陽や星，銀河系などについて，質量や距離を計算していきます。お楽しみに。

アンデスの新たな魅力を発見
高山慎一／長野県長野市

地球上のあらゆる地に探検の手がのび，もはや人跡未踏の地は残っていないのではという気がしている。しかし南アメリカには，インカ文明やその遺跡をはじめとして多くの謎と神秘が残されているため，私にとって非常に魅力的な場所である。

10月号の *ZOOM & FOCUS*「アンデス 8000キロ」では，自然の雄大さという南アメリカの新たな魅力を発見することができた。一度南アメリカに魅了された者は，一生忘れることはできないともいわれている。今度は私自身がアンデスを訪れ，この景観の下でその素晴らしさを味わいたいと思う。

● 貴重な写真を提供していただいたカメラマンの高野さんも，南アメリカに魅了された1人でしょう。雄大な自然のほか，人々の暮らしや文化，かくされた遺跡や伝説など南アメリカの魅力はつきません。

全世界でSETIの推進を
稲村禄昇／千葉県四街道市

「地球外文明探査は成功するか」を読んで，この分野に非常に興味をもちました。SETI（地球外文明の探査）の研究というのは，日本ではまだ活発ではないようですが，出来れば自分がその研究にたずさわってみたいと思っています。そしてやっぱりこういうことは，色々な意味をふまえて全世界が一団となって行うべきだと思います。

● 地球外文明の存在を想像するとき，同時に地球がどれほど貴重かが実感できます。今後もSETIの成果をお伝えしていきます。

オゾン層破壊の脅威を再認識
阿部由香／愛知県東海市

オゾン層の破壊が進んでいる事は，TV等で見て知っていたつもりだった。しかし10月号の「警告 有害紫外線が日本でも増加中」を読んで，それが地球や地球に住む者にあたえる影響がどれ程恐ろしいかを，全くというかほとんど認識していなかった事がわかった。

「～つもり」というのはよくある事なのだ。エイズの事にしても同じ。私も他の人も知る努力をして，身近な問題として考えなきゃ！と思った。でも努力をせずに私達が普段よく見る所にこういう事が書いてあれば尚いいのにな，とも思った。

それから，光る星座のポスター「88星座全天マップ」を買いまして，先日届きました。「おおっ!!」と声が出た程，美しかった。星を見るのが好きな友人にもプレゼントしようと思ってます。

日本のオゾン層破壊にショック
吉田睦美／鳥取県境港市

今，オゾン層の破壊が進んでいることを知ってましたが，他の国のことと考えていました。でも日本でも進んでいることを知って，すごくショックでした。これから日本でも皮ふガンがふえるのだろうと思いました。もっと前からフロンガスの使用をやめればよかったのにと思いました。

それから，付録の3Dポスター「立体写真で見る地球風景」はすごくGOODです。感動しました。

● 私たちが引きおこしたオゾン層破壊のために，未来の子供たちまで被害者になってしまいます。この問題だけでなく，長期に地球をむしばむ環境破壊を止めなければなりません。

科学のミニコミ誌をつくろう
斎藤由香／宮城県仙台市

中学生の時に相対性理論と出会い，科学のとりこになってしまいました。素人私論もいくつかあります。皆様の中で，私論をお持ちの方，科学に関するミニコミ誌を作りませんか。論文，エッセー，その他近況などを送ってください。ワープロ文字のミニコミですが，宇宙の起源や環境問題など，テーマは自由です。ミニコミの誌名も同時に募集します。

● 応募なさるかたは必ずそのことを明記し，Newton編集部あてにお送りください。編集部から斎藤さんへ転送いたします。

美しいシロフクロウ
渥美雅子／北海道旭川市

10月号のNewtonは脳とシロフクロウにひかれて買いました。シロフクロウ……。とってもきれいで，思わずスケッチするペンをとってしまいました。きれいだから，というわけではありませんが，絶滅しないでほしいなあ（これのみにあらず）と思います。

今いちばん興味をひくのが人体と自然。特に脳がいちばんひかれるんです。Newton別冊で『人体の不思議』がでたのでさっそく買います。

●純白のシロフクロウは“自然がつくりあげた芸術品”ともいえるでしょう。これからも，自然に生きる野生生物たちの姿をご紹介していきます。

物忘れする脳に感謝！
蒔田 桂／神奈川県相模原市

10月号の「自分の脳を知っていますか 第2弾」で，記憶の消去には積極的意味がある点につくづく考え方を改めさせられました。これまで暗記物を忘れることは一概に“悪だ！”と，自分の物覚えの悪さに失望し続けてきましたが，“脳”も“生命”のためにいろいろと考えがあって忘れさせているのですね！ “脳”心子知らずに反省し，これからはもっと“脳”に感謝して使わせてもらおうと思いました。

●私たちの気づかないところで，脳は巧妙なメカニズムをつくりあげています。使えば使うほどよくなる“脳”を，積極的に活用しましょう。

3Dポスターの雄大な風景
横田昌博／兵庫県神戸市

10月号の付録に3Dポスターがあるということで初めて購入しました。立体視にとても関心がありますので，このような企画はとても面白い。このポスターは平行視による立体視のため図版が小さかったので，交差視のための大型図版にしてほしい。

普通ではなかなか見る事の出来ない雄大な風景の立体視はすばらしい。今度は瞬間をとらえた高速度撮影による立体写真とか（たとえば水のはいったガラスびんが割れる瞬間とか），またはミクロの世界を写した写真の立体視など企画して頂きたい。つまり，立体視プラス普通では見えない光景です。期待しています。

●3Dポスターには「リアルに見えてよかった」と「よく見えない」という賛否両方の意見がありました。10月号の*LETTERS*でもご紹介しましたが，よく見えない場合は虫眼鏡などの拡大レンズを使って見てください。「双眼鏡のレンズをはずして使った」という意見もありました。また，市販の立体写真用の眼鏡などを使うとよりはっきり見えます。「岩本鉱産物商会（03-3379-3466）」のほか，理科教材を扱う店などで入手できます。

お便りにある「交差視」とは，画像を左右逆に置き，右の画像を左の目で，左の画像を右の目で見て焦点を合わせる方法です。また3D写真は普通のカメラでも撮影できます。風景のほか，人物などの立体写真も撮れます。1枚撮ったあと，真横に10～20センチほど平行移動してもう1枚撮影します。平行移動する間隔は対象物への距離などによってかわりますので，間隔をかえて何枚か撮るなどいろいろ試してみてください。

Newtonに感謝をこめて
高橋のり子／東京都国分寺市

長女が高校入学の頃，Newtonと我が家のお付き合いが始まりました。以来10年，長女は造園関係，次女は機器を使っての作曲，長男は社会工学系へと巣立って行きました。次男は目下，宇宙工学へ夢をはせ浪人中です。

考えてみますと，どの子供もNewtonと共に暮らしておりました。Newtonの美しいグラビア写真，他分野の紹介，そして分かり易い言葉が子供達に何よりも大きな感動となり，将来への夢を育んで下さったのだと思っております。私にとっても子供達とNewtonを囲んだ楽しい歳月が何よりの財産となっております。

子育ても一段落した今，私は老後への学習を始めようと思っています。日本では“高齢化社会を生きるために”様々な問題が言われております。それをどう乗り越えていくのか……。老人の生活，老人心理などNewtonらしい視点での記事を期待しております。

●創刊当時まだ学生で，Newtonの愛読者だったという人が編集部にもたくさんいます。これからも若い人々の夢を育てるNewtonでありたいと思います。

宇宙の仕事をしたい！
森山太一郎／長崎県長崎市

Newtonを読みながら，いつか私も宇宙の研究に参加したい，そしてできたら自分で宇宙に行ってみたいと夢のようなことを考えています。でも夢を夢で終わらせなかった人があれほどたくさんいるのです。私にも可能性はありますよね？ でも，夢を実現させるために何をすればいいのかよくわかりません。どんな勉強をしてどんな学校に行けばいいのか……。こんな気持ちを持っている人は大勢いると思います。ぜひ“宇宙に近づく方法”を教えてください。

●森山さんのように宇宙をめざす人々への“道しるべ”となるような記事を企画しています。4月号ごろ掲載の予定で，「NASA（アメリカ航空宇宙局）やNASDA（宇宙開発事業団）に入るには？」をはじめ，宇宙にかかわる仕事につくための方法を具体的にガイダンスします。どうぞご期待ください。

Newton92年10月号に一部誤りがありました。おわびして訂正いたします。
P112の右段，最後の行中「0.50617」→「0.506127」

皆さんの声をお聞かせください

Newtonでは，読者の皆さんからのご意見やご希望，読みたい記事などをお待ちしております。ただし，ご質問は本誌に掲載された記事に関するものに限ります。住所，氏名，年齢，職業（学生の方は学年）を明記のうえ，巻末の愛読者カードまたは葉書でお寄せください。お便りをいただいた方の中から毎月抽選で5人の方に，Newton特製テレホンカードを進呈いたします。また，*LETTERS*のコーナーに採用させていただいた方には，Newton特製ポストカードセットを進呈いたします。

NEWTON INFORMATION

読者のための情報ページ

カラー液晶モニターを内蔵したビデオカメラ

シャープから，4型カラー液晶モニターを内蔵したビデオカメラ「液晶ビューカム」<VL-HL1>が発売された。液晶ビューカムは，ビューファインダーをのぞく必要がなく，カラー液晶モニターをみながら撮影するスタイル。そのため，従来のビデオカメラよりも撮影がしやすくなった。回転撮影機構もついているので，ハイアングルやローアングルでも，液晶モニターをみながら操作すれば，自由自在に撮影することができる。デジタル処理によるブレ防止システムも搭載しているので，手ブレも最小限におさえることが可能だ。
またカラー液晶モニターとスピーカーの搭載により，撮った映像をその場で再生することもできるようになった。スポーツのレッスンやイベントなどの映像を，すぐに再生してチェックするなど，利用範囲が広い。また「ビデオカメラは写す本人が画面に入りにくい」というこれまでの不満にこたえて，レンズを撮影者の側に向ければ，液晶モニターをみながらリモコンで対面撮影することもできる。サイズは198（W）×148（H）×78（D）ミリ。重さは890グラム。価格は210,000円。お問い合わせ先／シャープ株式会社☎0120-078178

1人でチェスが楽しめる「電卓チェス」

桜商事から，電卓としての機能のほかに，チェスも楽しめる「電卓チェス」が発売された。外観は普通の電卓のように数字や＋－×÷などのボタンがついているだけだが，本体の内部には小さなチェスボードとチェス駒が収納されており，手前に引きだせるようになっている。プレーヤーがボタンを押して自分の手をコンピューターに教えると，コンピューターが次の手を液晶部に表示する。それをみてプレーヤーはボード上の駒を動かし，次の手を考えるというやり方である。ゲームの途中でスイッチを切ってもコンピューターは配置を記憶しており，次回スイッチを入れると，ひきつづきプレイすることができる。悪い手だと気づいたときに一手前にもどせるテイクバックボタンや，駒の位置がわからなくなったら正しい位置を確認できるベリファイボタンも便利だ。対戦レベルは全部で64レベル。電卓の機能としては，8桁四則演算メモリーの計算機。使用しないで一定時間経過すると，自動的にオフするオートパワーオフ機能もある。大きさは13.7（D）×8.4（W）×1.3（H）センチ。重さは約90グラム。価格は5,500円。お問い合わせ先／桜商事有限会社☎03-3865-9648

宇宙科学研究所主催の「宇宙学校」受講者募集

宇宙科学研究所では一般公開時に好評だったミニミニ宇宙学校を独立事業とし，宇宙学校として新たに実施する。研究者がそれぞれの得意分野をスライド，ビデオなどをまじえてわかりやすく説明し，受講者の疑問に答えてコミュニケーションをはかる。●日時＝1月17日（日），第1時限10：00～12：10，第2時限13：00～15：00，第3時限 15：10～16：50 ●場所＝相模原市立あじさい会館ホール。●入場無料。●対象＝小学校5年生以上。●内容＝第1時限「宇宙何でも見てやるぞ」担任教官：井上一，芝井広，平林久，映画：『太陽観測衛星ようこう』，第2時限「太陽系をさぐる」担任教官：水谷仁，小杉健郎，小原隆博，映画：『宇宙研究のあゆみ』，第3時限「宇宙へ飛び出す」担任教官：的川泰宣，黒谷明美，成尾芳博。●お申し込み方法＝希望する時限，住所・氏名・年齢を明記のうえ，往復はがきで申し込む（返信用のはがきの宛先には自分の住所・氏名を記入）。2名以上の場合は代表者氏名と人数を明記。各時限先着350名。●締切り＝1月11日（月）必着。●お申し込み・お問い合わせ先／〒229神奈川県相模原市由野台3-1-1 宇宙科学研究所広報係 ☎0427-51-3911（内）2205

AIをもつ留守番機能つきコードレスホン

ケンウッドから，小電力タイプ留守番機能つきコードレスホン「IS-W515（101型）」と「IS-W818（102型）」の2機種が発売された。両機種とも，留守番とコードレスの基本性能に，それぞれ新しい機能を加えたもの。その主なものは，留守録セットと解除を電話機が自動で行うAI（人工知能）留守番機能である。電話に関するユーザーのデータ（電話をかけた時間，受けた時間，操作した時間）が自動的にインプットされて在宅時間帯を割りだし，曜日ごとにセット/解除の時間をかえていくというもの。また留守応答開始までのリンガー音の回数も，ユーザーに合わせて自動調節する。学習機能があり，データは週単位で管理・更新されていくので，使えば使うほどユーザーの生活習慣になじんでいく。
IS-W818はダブルコードレスタイプで，従来型は居間用に，小型の子機は個室や移動・携帯用にと，ライフスタイルに応じた使い方ができる。本体のサイズは169（W）×58（H）×230（D）ミリ。重さは本体が1030グラム。子機はIS-W515が250グラム。IS-W818が210グラム。価格はIS-W515が53,800円。IS-W818が84,800円。お問い合わせ先／株式会社ケンウッド☎03-3486-5520

Newtonの教育社が開発した，中高生のための

効率学習で定期試験はいつも満点，志望校合格へ一直線

トレーニングペーパー ――― Xsで予習すれば明日の授業が待ち遠しくなります
予習・復習

授業がよく理解できること，これが学力アップの最大の秘訣です。そのためには毎日の予習がかかせません。でもどのように予習したらよいかわからないこともあるでしょう。その点Xsは，らくらくと予習を進めることができます。たとえば，明日の英語の授業で35ページを習うとしましょう。Xsにトレーニングペーパーのフロッピーを入れ，「3」「5」「印刷」の3つのキイを押すだけでOK。新しく習う単語や文法の詳しい説明，そして徹底したトレーニング問題が印刷されて出てきます。これさえやっておけば，先生の話もよくわかり，授業がどんどん面白くなってきます。明日の授業が待ち遠しくなればもうだいじょうぶ。学力アップまちがいなしです。

定期試験 ――― Xsは定期試験で満点をとることを可能にしました
実物テスト

定期試験用のフロッピーを入れ，試験範囲の教科書ページを指定します。すると試験範囲にピッタリあった実物そっくりのテストをXsが7通りも打ち出します。まだ習っていないところや前回の試験範囲の問題はまったく出てきません。最も効率よく勉強するために，各人の勉強すべき個所をその場で編集，印刷すること，これがXsの一番得意とする機能です。しかもXsの打ち出すテストは，もともと現職の中学校の先生によって作られた良問ばかり。学校の試験問題を見て，事前に勉強しておいた問題ばかり出てくるので，びっくり仰天，目を疑うことでしょう。これなら満点をとれるかもしれませんね。

高校受験 ――― Xsは志望校合格に直結したプログラムを用意します
弱点集中学習

中学3年生になると受験勉強が必要になりますが，Xsには志望校合格の実力を限られた時間の中で確実に身につけるためのプログラムが用意されています。Xsでは過去の実際の入試問題を中心にテスト形式で学習します。そして，つまずいた個所は徹底した類題トレーニングを行います。つまずいた個所の答えを丸暗記しても本当の実力はつきません。わかっている個所はどんどん飛ばさないと時間がかかるだけです。つまずいた個所の類題トレーニングを繰り返すことによって初めて本当の実力がつくのです。こうして，志望校合格の最短距離をつき進むことができるわけです。これは教育社の膨大なデータベースと最新のコンピュータ技術によって実現されました。

ワープロ ――― Xsは家族の人気もの，ワープロにも変身します

Xsの価値は学習の世界にとどまりません。ワープロ用フロッピーを入れると，Xsはたちまちワープロに変身します。家族の電話帳，同級生名簿，そして年賀状の宛名書きと，利用のしかたは自由自在です。家族そろってご使用ください。

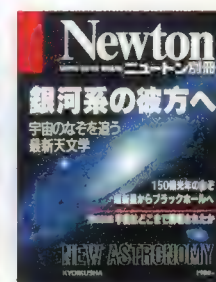
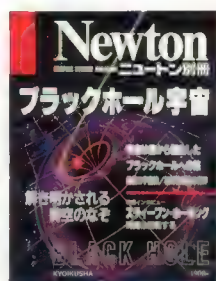
画期的なXs（キィーズ）学習システム

KYOIKUSHA

- **機器価格**／255,440円
- **学習ソフト価格**／（教材ソフトはすべてレンタル契約です）
  小学5・6年算数，国語（トレペ）各レンタル月額1,500円，中学受験対策算数，国語各レンタル月額2,300円。中学1・2・3年英語，数学（トレペ・定期試験）各レンタル月額1,800円，国語・理科・社会（定期試験）各レンタル月額1,200円。公立高校用受験対策英語，数学各レンタル月額1,800円，国語・理科・社会各レンタル月額1,200円。高校1・2年英語，数学（トレペ・定期試験）各レンタル月額2,500円。この他難関高校受験対策，基礎演習等の特別コースのソフトがあります。
- **消耗品価格**／リボン1,000円（マルチ・ワンタイムとも），専用用紙750円（500枚）

＊上記金額はすべて消費税込みの価格です。

東　京ー☎03-3232-8024
仙　台ー☎022-214-0733
前　橋ー☎0272-52-7925
大　宮ー☎048-647-5461
つくばー☎0298-58-2730
船　橋ー☎0474-22-9242
立　川ー☎0425-29-3811
神奈川ー☎0466-23-7737
静　岡ー☎054-288-6368
浜　松ー☎0534-73-5333
名古屋ー☎052-451-8528
大　阪ー☎06-359-5430
難　波ー☎06-648-1181
堺　ー☎0722-54-2799
神　戸ー☎078-333-8455
北九州ー☎093-645-5700
福　岡ー☎092-262-2828

または教育社出版販売各営業所へ

CONTRIBUTORS

●最初のヒトを求めて
諏訪 元／すわ・げん
東京大学理学部講師。Ph.D. 1954年，東京都生まれ。東京大学理学部人類学科卒業。専門は古人類学。研究テーマは東アフリカにおけるアウストラロピテクスの進化・系統。エチオピアなどで野外調査活動を行っている。

●大予測 地球の未来50億年
松井孝典／まつい・たかふみ
東京大学理学部地球物理学科助教授。理学博士。1946年，静岡県生まれ。東京大学理学部地球物理学科卒業。専門は惑星科学。1986年，イギリスの科学雑誌『ネイチャー』に地球の起源と進化についての理論を発表し，世界の学者の注目を集めた。
坂田俊文／さかた・としぶみ
東海大学情報技術センター所長。東海大学工学部教授。工学博士。1931年，東京都生まれ。千葉大学工学部工業化学科卒業。専門は画像情報工学。人工衛星などのハイテク技術を駆使し，環境問題や古代史の研究を行う。
平 朝彦／たいら・あさひこ
東京大学海洋研究所教授。Ph.D. 1946年生まれ。東北大学理学部地質学古生物学教室卒業。専門は海洋地質学。海溝の堆積作用とテクトニクス，地球進化史，海洋古環境変動を研究。
小泉武栄／こいずみ・たけえい
東京学芸大学教育学部助教授。理学博士。1948年，長野県生まれ。東京学芸大学教育学部地理学科卒業。専門は自然地理学。山地地域における最終氷期以降の気候変化などの研究。
小池惇平／こいけ・じゅんぺい
東京工業大学生命理工学部助手。理学博士。1943年，長野県生まれ。北里大学衛生学部化学科卒業。専門は宇宙生命科学。主な研究テーマは火星の生命探査，太陽系惑星の検疫。
濱田隆士／はまだ・たかし
東京大学教養学部教授。理学博士。1933年，宮崎県生まれ。横浜国立大学学芸学部地学科卒業。専門は地史古生物学。日本の三葉虫類，サンゴ礁の地球史，火山島システムを研究。

磯部琇三／いそべ・しゅうぞう
国立天文台助教授。理学博士。1942年，大阪府生まれ。東京大学理学部物理学科卒業。専門は天体物理学，とくに星の形成過程の研究を行う。

●新幹線 高速化へのテクノロジー
大山忠夫／おおやま・ただお
（財）鉄道総合技術研究所高速低騒音新幹線開発部長。工学博士。1940年，山形県生まれ。東北大学工学部機械工学科卒業。専門は機械工学。車輪／レール間の粘着現象を研究。

●体験！ サイエンスワールド
原 恵／はら・めぐみ
青山学院大学経済学部教授。文学修士，M.A. 1927年，東京都生まれ。青山学院大学大学院文学研究科修了，オハイオ州立大学大学院修了。専門は賛美歌学。星座・星名の研究を行う。天文博物館五島プラネタリウム理事。昨年に引きつづき，連載「星物語 太陽と惑星たち」もご執筆いただいている。

●流氷の船乗り オジロワシ
竹田津 実／たけたづ・みのる
1937年，大分県生まれ。岐阜大学農学部獣医学科卒業後，北海道で獣医師として活躍。動物写真に取り組み，映画『キタキツネ物語』の動物監督や出版物で野生動物の生態を紹介。

●湾岸戦争での鳥たちの悲劇を忘れるな
百瀬邦和／ももせ・くにかず
（財）山階鳥類研究所研究員。1951年，長野県生まれ。東邦大学理学部生物学科卒業。専門は鳥類生態学。タンチョウの生態を研究。湾岸戦争で流出した油の鳥類への影響を調査。

●生きのびるためにクロサイは角を切る
永戸豊野／えいと・とよの
（財）WWF Japan（世界自然保護基金日本委員会）広報室勤務。1929年，大阪府生まれ。早稲田大学文学部文学科卒業。

Newton
GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン
2月号予告

NEWTON SPECIAL
エイズへの挑戦
日本でもエイズ感染者が急増している。エイズに感染するとどうなるのか。どこの病院に行けばいいのか。エイズに関する最新情報をお送りする。

ZOOM & FOCUS
CGでよみがえる古代遺跡
メソポタミア文明のシンボル「ジッグラト」，アステカ文明の湖上都市「テノチティトラン」などの古代遺跡がCGによって完全に復元された。

衝突する銀河たち
宇宙では数億年という時間をかけて衝突している銀河たちがある。衝突で銀河の形は変形していく。コンピューターで銀河衝突のドラマを追う。

氷河期がやってくる？
現代も氷河時代であり，8万年後には次の氷期がくるといわれている。二酸化炭素の増加などの環境破壊は氷河時代のサイクルに影響をあたえるか？

特別インタビュー 毛利衛宇宙飛行士
宇宙生活を体験した毛利衛さんに，おどろきや感動など宇宙でのすべてを語ってもらう。Newtonの読者だけにお送りする特別インタビュー。

GEOGRAPHIC——竹内 均
地球 大気と生物の誕生
46億年前に地球は誕生し，やがて大気ができ，生物があらわれた。当時のなごりをとどめる場所を紹介しつつ，大気と生物の誕生を解説する。

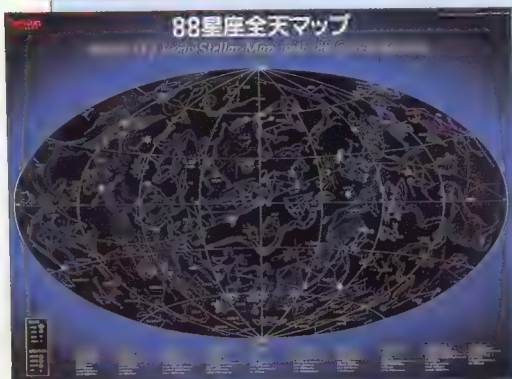
カモノハシ
カモのようなくちばしをもち，卵を産んで母乳で子育てをする原始的な哺乳類。土中にトンネルを掘って生活するその素顔はなぞに包まれている。

体験！ サイエンスワールド
太古の世界にタイムスリップ
今回は化石と恐竜関係の自然史系科学館を紹介。アンモナイトや恐竜，ナウマンゾウなどの化石から進化の跡をたどっていこう。

Newtonがお届けする特選ポスター

今までに人気の高かったNewtonのポスターを特別解説付きで購入することができます。

●特別注文品を除くポスターのお申し込みは，最寄りの書店か巻末の振替用紙，または申し込みはがきをご利用ください。

ポスターは筒に入れ折らない状態でお手元にお届けします。

豪華版
88星座全天マップ

Newton特別解説付き　定価3500円（税込）

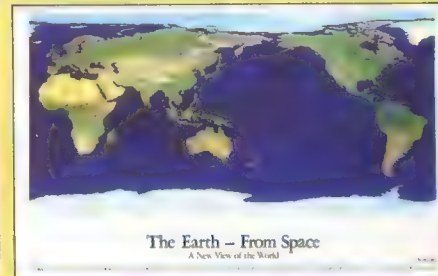
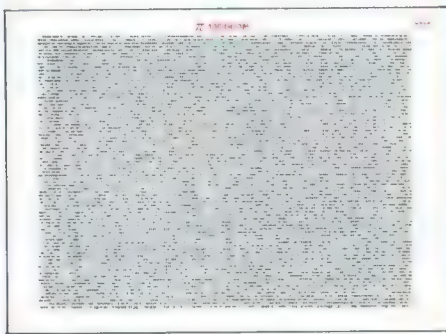
Newton92年7月号付録「88星座全天マップ」の拡大版ポスターができました。暗いところでみると，星座が光る特殊なインク（蓄光インク）を使用した豪華ポスターです。

サイズ：左右80.0センチ×天地58.0センチ

π100,000桁

Newton特別解説付き　定価3000円（税込）

Newton92年1月号付録「π6万桁カレンダー」がバージョン・アップして，10万桁のポスターになりました。小数点以下，果てしなくつづくπの値をここまで網羅したポスターは世界初です。

サイズ：左右80.0センチ×天地58.0センチ

アース・フロム・スペース

Newton特別解説付き　定価3000円（税込）

人工衛星からの写真2000枚からつくられた世界初の全地球雲なし画像です。宇宙からみた地球の素顔がさまざまなイメージをよびおこします。

サイズ：左右88.4センチ×天地58.0センチ

特別注文品　アース・フロム・スペース豪華パネル入り

Newton特別解説付き　定価24000円（税込）

特別注文品につき，直接教育社へお申し込みください。

サイズ：左右90.0センチ×天地59.5センチ

Newton Collection 好評発売中！ 監修 竹内 均

ニュートン・コレクション第1期 全10巻

セット価格30900円（税込） A4変型Newton判　各巻平均230ページ
オールカラー　日本図書館協会選定図書／全国学校図書館協議会選定図書

- ●人体の神秘
- ●文明の源流をめぐる
- ●野生動物の生態
- ●宇宙のドラマ
- ●小動物の華麗な生態
- ●科学の先駆者たち
- ●地球 水と緑の大地
- ●天体観測
- ●生きている地球
- ●NASA 宇宙開発のパイオニア

チャンス！

今ニュートン・コレクション第1期を巻末の申し込み書でお申し込みいただいた方全員に，ボイジャー2号にぶつかるチリの音やアポロ宇宙船の交信記録など，ふだん聞くことのできない音を集めたNewton特製「サウンド・オブ・ネイチャー」をプレゼント！

ニュートン・コレクション第2期 全10巻

Newton別冊シリーズをハードカバー化した愛蔵版

セット価格35000円（税込） A4変型Newton判　各巻平均210ページ
オールカラー　全国学校図書館協議会選定図書

- ●太陽系のすべて
  驚異の惑星ワールド
- ●恐竜年代記
  生物進化のパノラマ世界
- ●ブラックホール宇宙
  解き明かされる時空のなぞ
- ●相対性理論
  アインシュタインの不思議な世界
- ●銀河系の彼方へ
  宇宙のなぞを追う最新天文学
- ●アインシュタインをこえて
  相対論からホーキング，超ひも理論へ
- ●宇宙開発
  人類は限りないフロンティアをめざす
- ●失われた古代文明
  科学が解き明かす巨大遺跡のなぞ
- ●科学の先駆者たち 2
  人物科学史
- ●科学の先駆者たち 3
  人物科学史

Newton 関連商品カタログ

Newtonの人気記事をテーマ別に集大成

Newton別冊シリーズ 各巻定価1,900円(税込)

A4変型Newton判／オールカラー

アインシュタインをこえて
太陽系グランドツアー
相対性理論
銀河系の彼方へ
ブラックホール宇宙
恐竜年代記
太陽系のすべて
地球クライシス
失われた古代文明
宇宙開発
地球がわかる本
人体の不思議
星座物語

科学を身近に楽しめる新しい科学百科

ニュートン・コレクション 監修 竹内 均

A4変型Newton判／各巻平均220ページ／オールカラー

第1期 全10巻 セット価格30,900円(税込)

人体の神秘/文明の源流をめぐる/野生動物の生態/宇宙のドラマ/小動物の華麗な生態
科学の先駆者たち/地球 水と緑の大地/天体観測/生きている地球/NASA 宇宙開発のパイオニア
日本図書館協会選定図書 全国学校図書館協議会選定図書

第2期 全10巻 セット価格35,000円(税込)

太陽系のすべて/恐竜年代記/銀河系の彼方へ/相対性理論/ブラックホール宇宙/アインシュタインをこえて/失われた古代文明/宇宙開発/科学の先駆者たち 2/科学の先駆者たち 3

Newton別冊シリーズのハードカバー化，愛蔵版としてお楽しみください。

Newton special issue

植物の世界 全4巻

ナチュラルヒストリーへの招待

監修 河野昭一

A4変型Newton判/各巻平均144ページ/オールカラー

セット価格6,160円(税込)

第1号 春 ユキツバキ/カタクリ/チゴユリ
第2号 夏 ホオノキ/ホソバテンナンショウ
第3号 秋 オオモミジ/ツリフネソウ
第4号 冬 ブナ/クロモジ/ショウジョウバカマ

子供たちの素朴な疑問にこたえます

アイザック・アシモフの科学発見シリーズ 全20巻

アイザック・アシモフ 著 竹内 均 監修

A5判/各巻64ページ

セット価格20,600円(税込)

①地球は丸い？
②数字ってなに？
③電気ってなに？
④恐竜ってなに？
⑤細菌ってなに？
⑥ビタミンってなに？
⑦エネルギーってなに？
⑧すい星ってなに？
⑨原子ってなに？
⑩原子力ってなに？
⑪宇宙ってなに？
⑫地震ってなに？
⑬ブラックホールってなに？
⑭南極ってなに？
⑮人類の祖先ってなに？
⑯石油ってなに？
⑰石炭ってなに？
⑱太陽エネルギーってなに？
⑲火山ってなに？
⑳深海ってなに？

Newtonでしか手に入らない特製ポスター

(Newton特別解説付き)

アース・フロム・スペース
580×884㎜/定価3,500円(税込)

アース・フロム・スペース(豪華パネル入り)
595×900㎜/定価24,000円(税込)

π100,000桁
580×800㎜/定価3,000円(税込)

豪華版 88星座全天マップ
580×800㎜/定価3,500円(税込)

Newton関連書籍

細胞の分子生物学 第2版
定価18,600円(税込)

細胞の分子生物学 プロブレムブック
定価6,500円(税込)

タンパク質の構造入門
定価9,800円(税込)

世界の科学者100人
定価3,800円(税込)

世界最大の謎 失われた文明の謎に挑む
定価6,980円(税込)

ニュートンアトラス日本列島
定価16,800円(税込)

ニュートンワールドアトラス
定価16,800円(税込)

英語を知らない児童から，英語を得意にしたい中学生のための英語教材

English Land

監修 植松みどり，アリス・バーナードほか

●入門編 全6巻

テキスト6冊/カセット60分×6巻/ワークシート付き

セット価格19,200円(税込)

vol.1 アルファベットをおぼえよう ほか
vol.2 身近なものを英語でいおう ほか
vol.3 いろいろな色をおぼえよう ほか
vol.4 英語で100までかぞえよう ほか
vol.5 家庭のことを英語でいおう ほか
vol.6 英語で自己紹介しよう ほか

●初級編 全6巻

テキスト6冊/カセット60分×6巻/ワークシート付き

セット価格22,800円(税込)

vol.1 12か月・序数の表しかた ほか
vol.2 曜日のいいかた/疑問文/否定文
vol.3 四季・天候・自然のいいかた ほか
vol.4 体の部分・病気・けがなど
vol.5 職業/be動詞＋名詞の文 ほか
vol.6 英語で友だちや家族を紹介しよう ほか

編集長室から

竹内 均

今月号から，いくつかのシリーズ記事の再編をした。まず，*TECHNOLOGY UPDATE* という欄を新設した。Newton へは各企業や研究機関から，毎日のように多くの資料が送られてくる。これまでもその中からいくつかを選び，*NEW TON INFORMATION* 欄で使わせていただいた。今月号からこの欄で，日本の最新技術についての情報を毎月お知らせしていく予定である。ご期待いただきたい。

東京都渋谷にある東京電力の「電力館」で行われたパソコン教室で講師を務める編集長。

先月号で終わったアシモフさんの科学コラムにかわって，「サイエンス・ウォッチ」欄をつくった。アシモフさんにはおよびもつかないけれども，科学の最新情報の中から興味深いトピックスを選んでこの欄で紹介していくつもりである。その関係もあって，これまでは「アースウォッチ」とよんできた地球環境問題に対するシリーズ名を，今月号からは「地球は今」とかえることにした。

青山学院大学教授の原恵さんにお願いしている「星物語」は今月から2年目に入る。「太陽と惑星たち」というサブタイトル名からもおわかりいただけるように，今年は，太陽系の天体をテーマにしたお話をしていただくことになっている。

先月号で予告したとおり，毛利さんがスペースシャトル・エンデバーで飛んだときの宇宙実験のようすの特集をした。この記事をつくるにあたっては，宇宙開発事業団の全面的なご協力をいただいた。向井千秋さんと土井隆雄さんからお話をうかがうこともできた。毛利さんご自身からうかがったお話は，次号で紹介する予定である。

今月号の「体験！ サイエンスワールド」では，全国のプラネタリウムを紹介した。こうした施設のガイド記事をのせてほしいという読者からの要望にこたえて，この記事をつくった。それがご期待にそうものであったかどうかについてのご意見を，ぜひ聞かせていただきたい。

インタビューのコーナーでは早稲田大学教授の中村桂子さんにご登場をいただいた。中村さんは現在「生命誌研究館」という施設の設立にかかわっておられる。その基礎となった生物学に関する新しい考え方をうかがったわけである。

「新幹線 高速化へのテクノロジー」をつくるにあたっては，(財)鉄道総合技術研究所総務部広報課の江守英治さんのお世話になった。Newton をよい雑誌にするためのご協力をいただいた，上にのべた方々に深く感謝したい。

先月発売した Newton 別冊『星座物語』は幸いにして好評を得ている。この別冊をたよりにして，限りない宇宙のロマンを1人でも多くの方に楽しんでいただきたいと思っている。

Newtonへのお便りは，かならず葉書きにてお寄せください

あて先：〒180　東京都武蔵野郵便局私書箱第1号 Newton編集部

Design

堀木一男，岩崎邦好，岡野祐三，豊田正江，旗手祥氏，宮下浩／
Visual Communication Design Convivia

Photograph

表紙	宇宙開発事業団
2	NASA, Newton, 大阪市立科学館
3	竹田津実，JTBフォト
7	Claude Nuridsany/Orion Press
9	Steve Schneider/Sipa Press/Orion Press, David Parker/SPL/PPS, PANA
10	株式会社フジタ
11	西松建設株式会社，三浦宏文，永田譽，株式会社日立製作所
12	Isao Imbe,（財）エンジニアリング振興協会
13	Atelier Holthe, 富士通株式会社，本蔵良三
14	David Jewitt・Jane Luu
16～23	NASA
24-25	NASA，宇宙開発事業団
26-27	宇宙開発事業団，NASA
27	NASA
28	NASA，宇宙開発事業団
30～31	NASA
32	須田立雄，宇宙開発事業団
33	NASA
34-35	徳光ゆかり/Newton
36～37	宇宙開発事業団
38	宇宙開発事業団
38-39	徳光ゆかり/Newton
39	宇宙開発事業団
45	Newton, T.White
46～51	Newton
54	NASA
58	東海大学情報技術センター
64	野上道雄
76	NASA
78	JR東海，JR東日本
79	JR西日本，JR東日本
80	A.Wolf/Explorer/PPS
82～83	(財)鉄道総合技術研究所
84～85	横浜こども科学館
86	名古屋市科学館
87	横浜こども科学館，天文博物館 五島プラネタリウム
88	つくばエキスポセンター，明石市立天文博物館
89	サンシャインプラネタリウム，大阪市立科学館
90	名古屋市科学館，Newton，ミノルタカメラ株式会社
92～101	竹田津実
102	U.S.G.S.Flagstaff,Arizona, World Photo Service
103	藤井旭
104	NASA
106	R.Poole/Orion Press
109	NASA, U.S.G.S.
110-111	JTBフォト
112-113	Orion Press
114～117	R.Scholz/世界文化フォト
118	サンセット
119	山梨勝弘/世界文化フォト
120	世界文化フォト
121	P.Schermeister/PPS
122～123	サンセット
124～129	Uniphoto Press
130	(財)山階鳥類研究所
131	岩合写真事務所，Regis Bossa/Los Angeles Times Syndicate

Illustration

表紙	大下亮
3	山内傳
5	金井裕也
14～15	奥本裕志
24-25	目黒市松
36-37	木下真一郎
40-41	奥本裕志
42	木下真一郎
43	矢田明
44	渡辺信綱
47	株式会社教育社
48	小林稔
50	藤丸恵美子
52～77	構成/岡野祐三，豊田正江
52-53	山内傳
55	大下亮，小谷晃司
55-57	小林稔
56	荒内幸一，重治，矢田明，小谷晃司
57	株式会社日本校文館/和久正明，山本匠
58-59	田中盛穂
60-61	荒内幸一
61	増田庄一郎
62	目黒市松
62-63	増田庄一郎
64-65	目黒市松
66-67	黒田文隆
67	浅野仁
68-69	矢田明
70-71	浅野仁
71	浅野仁，岸野敏彦
72-73	奥本裕志
74-75	門馬朝久
76	岸野敏彦
77	小林稔
78-79	木下真一郎
81	泉正文
87～90	奥本裕志
91	木下真一郎
103	奥本裕志
104	岸野敏彦
105	柏崎義明，岸野敏彦
107～108	荒内幸一

Cooperation

13	Lillehammer '94-The XVII Olympic Winter Games, 宮城県農業センター

一人一人が、プロフェッショナル。

PROFESSIONAL

日頃、なにげなく使っている電気は、
その扱い方を少しでも間違えれば、「危険」なものになります。
いま、電気の3分の1を作り出している原子力発電。
ここ、原子力発電所では一人一人が「安全」のプロフェッショナル。
見つめる、分析する、制御する……。
その一つ一つに専門家集団としての知恵と経験が活かされています。
安全への、さらなる一歩へ。
私たちは〝危なさ〟を良く理解することから始めています。

明日をひらくエネルギー
東京電力

Newton 1993年1月号

1993年1月7日発行 毎月7日発行 第13巻第1号
昭和56年8月10日第3種郵便物認可

編集人 竹内 均
発行人 辻 裕久

〒189東京都東村山市恩多町1-12-3

株式会社 教育社

定価980円(本体951円)

A-001

Printed in Japan 雑誌07047—1

T1007047010985